
UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD FORESTAL Y AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias en la estación hidrológica forestal Amistad.

Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias
Forestales
Mención Manejo de Bosques

Autora: Ing. Laura Sofía Holguín Perdomo

Tutores: Dr. C. Ángel Zaldívar Solís

Abril de 2012

Año 54 de la Revolución

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPÍTULO I.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Antecedentes del uso de microcuencas en investigaciones de Hidrología Forestal.	3
1.1.1 Investigaciones de balances hídricos en Cuba	5
1.1.2 Investigaciones en otros países	9
1.1.3 Caracterización de los flujos hidrológicos	10
1.1.4 Interceptación de la lluvia	10
1.1.5 Trascolución	22
1.1.6 Escurrimiento cortical	25

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1. Caracterización de La estación hidrológica forestal “Amistad”	29
2.1.1. Situación geográfica y superficie	29
2.1.2. Vegetación	30
2.2. Trascolución, escurrimiento cortical, interceptación. Métodos de medición	31

CAPITULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Comportamiento de las precipitaciones en la estación hidrológica forestal “Amistad” en el periodo 1979 – 2011	37
3.2. Comportamiento de la partición de la lluvia	39
3.2.1. Análisis estadístico del conjunto de datos 1982, 1983 y 1984	39

3.2.2. Influencia de las variables cantidad, duración e intensidad de la lluvia	41
3.2.2.1. Prueba de normalidad para las variables	41
3.2.2.2. Relación de la cantidad (PPCA), duración e intensidad en la partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias	42
3.2.3. Comportamiento de las variables de la partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias	46
3.2.4. Comportamiento de las variables de la partición según intervalos de precipitación, consecutividad de los eventos y periodos, por año y general	47
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50

Resumen

El trabajo de investigación se realizó en la provincia de Pinar del Río, en la cuenca del río San Diego, donde está situada la estación hidrológica forestal "Amistad". Dentro de la formación forestal predominante se encuentra el pinar, y asociados a ésta están los bosques de galería. Desde el año 1982 se establecieron parcelas con coníferas y latifolias con el objetivo de obtener mediciones de la partición de la lluvia, se colocaron pluviómetros y pluviógrafos para medir la cantidad e intensidad de las precipitaciones a cielo abierto y bajo dosel. Se prepararon árboles para canalizar el escurrimiento, y también se tuvo en cuenta la interceptación de la lluvia. Se obtuvo el comportamiento de las precipitaciones en el periodo de 1979-2011, además el comportamiento de la partición de la lluvia, donde se realizaron análisis estadísticos para las variables de la partición de la lluvia, obteniéndose la influencia de las variables de cantidad, duración e intensidad de la lluvia en la partición en bosques de coníferas y latifolias.

Palabras claves: Hidrología forestal, partición de la lluvia

Abstract

The research was conducted in the province of Pinar del Río in the San Diego River watershed, the location of the forest hydrological station "Friendship". Within the formation is the predominant forest pine forest, and associated with it are the gallery forests. Since 1982 he established conifers and broad-leaf plots in order to obtain measurements of the partition of the rain gauges and rain gauges were placed to measure the amount and intensity of precipitation in the open and under canopy. Trees were prepared to channel the stemflow, and also took into account the rainfall interception. We obtained the behavior of precipitation in the period 1979-2011, also the behavior of the partition of the rain, where statistical analyzes were performed for the variables of the partition of the rain, giving the influence of the variables of amount, duration and intensity of rain in the partition in conifer and broadleaf. Keywords: Forest Hydrology, rain partition

Introducción

Hasta fechas recientes, la importancia de los bosques se centraba casi exclusivamente en su producción de bienes o recursos naturales, entre ellos la madera y los productos no maderables como frutos, resinas, corcho, pastos, caza, etc. Pero hoy día, cada vez en mayor medida, la importancia de los bosques radica en los servicios ambientales que ofrecen ajenos a los de producción, destacando entre ellos los de regulación del ciclo hidrológico, control de la erosión del suelo, fijación del carbono, etc., junto a los culturales o de satisfacción, ofreciendo múltiples oportunidades para el ocio y recreo con paisajes de gran belleza escénica y capacidad de evocación (González, 2011). El papel de los bosques y selvas tropicales en el ciclo hidrológico del mundo no se puede subestimar. Si bien cubren solo un 6 % de la superficie del planeta, captan casi el 50 % de la lluvia terrestre del planeta (Myers, 1997, citado por Manson, 2004).

Por lo que se han venido haciendo investigaciones en cuanto a lo que tiene que ver con la hidrología por ejemplo en pequeñas subcuencas sobre la influencia de la vegetación boscosa en el escurrimiento superficial y subterráneo, comenzaron en 1900 en Suecia, para lo que se seleccionaron dos subcuencas, Sperbal y Rappen, en Bernckon Kantong, a una altitud de 1000 m y con el 97 % y 35 % del área cubierta por bosque respectivamente. Este primer estudio dio como resultado que en la segunda subcuenca (35 % de vegetación forestal) hubo un aumento significativo en el escurrimiento superficial (Ranmanov, 1981, citado por Molina, 1981).

Todos los países del mundo y principalmente aquellos que sienten más intensamente la insuficiencia de agua para el consumo humano y para la industria, buscan afanosamente los caminos más adecuados para proteger y aprovechar más racionalmente sus recursos hídricos. Esta situación conlleva a un minucioso estudio para aprovechar correctamente aquellos elementos que optimizan la conservación y aumento del aforo actual del agua natural, así como su calidad (Plasencia, 2010).

Los bosques de pinos tienen una enorme importancia en la economía forestal, debido a su uso universal y a su relativamente rápido crecimiento, hasta el punto que las proyecciones del fomento forestal en el mediano plazo contemplan un área

necesaria para la economía del país, superior a las 180 000 ha., entre bosques naturales y plantaciones (Dirección Nacional Forestal, 2008, citado por Plasencia, 2010).

En los ecosistemas de pinar de Cuba, no se conocen bien el comportamiento de la lluvia incidente, es decir, como se distribuye la lluvia que cae sobre el bosque.

Problema: ¿Cómo se comporta la partición de la lluvia en las condiciones de la estación hidrológica forestal Amistad (pinar y bosque de galería).

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento de la partición de la lluvia en las condiciones de la estación hidrológica forestal Amistad (pinar y bosque de galería).

Hipótesis:

La participación de la lluvia difiere en su comportamiento en función de la cantidad, la duración e intensidad y del tipo de cobertura forestal.

Objetivos específicos:

- Caracterizar de manera general el comportamiento de las precipitaciones en la estación hidrológica forestal Amistad en el periodo 1979 – 2011.
- Determinar el comportamiento de la partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias analizando la influencia de variables tales como cantidad, duración e intensidad de la lluvia, así como la época del año.

CAPÍTULO I.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.2 Antecedentes del uso de microcuencas en investigaciones de Hidrología Forestal.

La Conferencia de la FAO en el Octavo Período de Sesiones, dedica un lugar especial a las "influencias forestales", subrayando particularmente el hecho de que los bosques del mundo no solo protegen el suelo y el régimen hidrológico sino que también regulan el agua y por la importancia del tema se hace la publicación "La influencia de los montes" (FAO, 1962), citado por Giraldo, (2002).

Las investigaciones en pequeñas subcuencas sobre la influencia de la vegetación boscosa en el escurrimiento superficial y subterráneo, comenzaron en 1900 en Suecia, para lo que se seleccionaron dos subcuencas, Sperbal y Rappen, en Bernckon Kantong, a una altitud de 1000 m y con el 97 % y 35 % del área cubierta por bosque respectivamente. Este primer estudio dio como resultado que en la segunda subcuenca (35 % de vegetación forestal) hubo un aumento significativo en el escurrimiento superficial Ranmanov (1981), citado por Molina, (1981). Los flujos se mejoran después de la reforestación (Hardjono, 1980).

Algunos investigadores han abogado por el aclareo de los bosques para eliminar la transpiración, aumentar la cantidad de agua circulante; otros han mantenido que la tala de un bosque conduciría al desastre inmediato. El agua correría impetuosa por la superficie del suelo, quedando muy poca en el subsuelo para mantener la corriente durante el tiempo seco. Ambos extremos contienen algo de verdad, y la misión del forestal que administra una cuenca es quedarse en el punto medio más efectivo. En regiones en que es importante que corra un máximo de agua se debe reducir el número de árboles lo suficiente como para que la transpiración sea escasa, para que se mantenga el suelo forestal permanentemente en condiciones favorables. En cambio, cuando lo que se necesita es que el suelo retenga la mayor cantidad posible de agua

de las lluvias, que de otro modo producirían avenidas, será preferible fomentar el crecimiento de una vegetación densa que consuma mucha humedad del suelo.

Los modelos hidrológicos han demostrado ser útiles en el manejo de plantaciones en aspectos que les conciernen en el sitio y fuera del sitio.

Como ejemplo se tiene la identificación de grandes áreas excesivamente húmedas, o pendientes inclinadas exhibiendo grandes superficies de erosión. Aspectos fuera del sitio se relacionan con los impactos hidrológicos aguas abajo, de las operaciones forestales. La estrecha relación entre ambas situaciones se ha demostrado por los numerosos conflictos de interés entre las demandas de agua y la producción de madera y necesidades de riego en otros sitios, abastecimiento de agua para la industria y para la ciudad en los trópicos (Pereira, 1989, Langford, 1976; Calder, 1990). Para resolver tales conflictos se requiere de predicciones confiables del uso total del agua por las plantaciones en las diferentes etapas de crecimiento, sobre la base de que se deben tomar decisiones sobre el uso racional del suelo Bosch (1982), citado por Bruijnzeel (1997).

Anderson (1970) y Jiulet (1970), citado por Plasencia (2010) por su parte, fundamentados en sus investigaciones y en estudios de balances hídricos en pequeñas cuencas experimentales, plantean que la vegetación boscosa aumenta la evapotranspiración y disminuye el rendimiento anual de las cuencas. Según estos investigadores, las cortas totales de los bosques y como resultado el cambio de la vegetación forestal por pastos y otros cultivos, produce un aumento considerable del rendimiento hídrico.

En Kenia en estudios realizados referidos a la sustitución de bosques húmedos tropicales por plantaciones de té y la de los bosques montañosos de bambú, por plantaciones de pino se obtuvo que los aumentos iniciales del rendimiento hídrico obtenido, debido a las cortas de los bosques alcanzaron un 10 % y un 13 % respectivamente (Molina, 1981).

El impacto del uso de la tierra sobre la escorrentía superficial media es una función que depende de numerosas variables, siendo las más importantes la cubierta vegetal que se vincula fundamentalmente a la evapotranspiración

(ETR) y a la capacidad de infiltración de los suelos y su capacidad para retener agua.

Un cambio en la cubierta del suelo de especies de menor a mayor ETR conducirá a un descenso en el caudal anual. De una revisión de 94 cuencas experimentales, Bosch y Hewlett (1982) concluyeron que el establecimiento de una cubierta forestal en un terreno con núcleos de vegetación aislados reduce la escorrentía superficial. Los bosques de coníferas, las especies madereras de hoja caduca, el monte bajo y las praderas tienen (en ese orden) una influencia decreciente en la escorrentía superficial.

Contrariamente, un cambio de una cubierta vegetal de mayor a menor ETR incrementará la escorrentía superficial media: una reducción en la cubierta forestal incrementa el aporte de agua (Bosch y Hewlett, 1982).

Existe preocupación sobre los efectos ambientales de extracción forestal en los países tropicales, donde las selvas tropicales representan un recurso de carácter natural y económico. Para un mejor manejo del recurso forestal, hay que tener información básica sobre la ecología de los bosques y la relación entre los efectos del bosque sobre el medio ambiente. En muchos casos, las relaciones hídricas de las masas forestales son de gran interés a escala local, donde la tala de los bosques puede afectar el rendimiento de agua (Lee, 1980; Bosch y Hewlett, 1982; Hamilton y King, 1984; Bruijnzeel, 1990; Maimor, 1992) citado por C. Asdak (1998) a escala regional, masiva la reducción de la superficie forestal puede reducir la evaporación y por lo tanto, el clima, la precipitación regional y mundial puede verse afectada (Henderson-Sellers y Gornitz, 1984; Shuttleworth, 1988; Dickinson, 1989; magra y Warrilow, 1989; Shukla et al, 1990).

1.1.7 Investigaciones de balances hídricos en Cuba

La cuantificación de los flujos hídricos asociados a la parte aérea del bosque (trascolación, escurrimiento cortical e interceptación) reviste un gran interés ya que esto juega un papel importante en el balance hídrico. Según Llorens y Domingo (2007) citado por Plasencia, 2010 el importante papel que la partición

de la lluvia por la vegetación puede jugar en el balance del agua y como consecuencia en los recursos hídricos, es bien conocido.

El consumo de agua por una cobertura vegetal o evapotranspiración total se refiere a la transpiración más la suma de las pérdidas por intercepción y la evaporación de agua del suelo, en caso de presentarse (esta componente tiende a cero para situaciones de una cobertura cerrada con un microclima especial). Interesa desarrollar en este numeral el concepto de transpiración de las especies forestales, proceso que tiene en cuenta los estomas de las hojas, (Giraldo, 2002).

En la literatura existen resultados contrastantes cuando se revisa el tema sobre bosques y régimen del agua del suelo.

Diversos estudios como los realizados por Blackie et al. (1981), Lima (1975) no han encontrado diferencias significativas en el contenido de humedad del suelo bajo diferentes tipos de coberturas vegetales. Lima (1983) encontró diferencia significativa entre la vegetación de *Pinus caribaea* en la capa superficial del suelo, o sea que el suelo bajo bosques se mostró más húmedo en la capa superficial que el de plantación de pino. En las demás profundidades los contenidos de humedad fueron similares.

En un estudio realizado en bosque natural, plantaciones de *Pinus patula*, y potreros, en suelos derivados de cenizas volcánicas, encontró que el contenido de humedad del suelo bajo *Pinus patula* no presentó diferencia significativa con el bosque natural o con el pasto. La humedad del suelo aumentó con la profundidad para todas las coberturas Moreno (1987), citado por Giraldo (2002).

Los efectos que tiene la manipulación de la cobertura sobre el rendimiento hídrico, son contundentes las conclusiones recogidas al respecto en los trabajos de Hibbert, (1967) y Bosh y Hewlett (1981), citado por Giraldo (1997).

- Los bosques de coníferas, los bosques decíduos de maderas duras o latifoliados, matorrales o rastrojos y pastos presentan (en ese orden) una influencia decreciente sobre el rendimiento hídrico en la áreas originales en las cuales se manipulan estas coberturas.

-
- Los cambios sobre el rendimiento hídrico generados por la manipulación de las coberturas vegetales son función de la cantidad, duración e intensidad de la precipitación del lugar.
 - Cambios en la cobertura vegetal del 10% generan disminución en el rendimiento hídrico anual de 40 mm. para bosques de coníferas y eucaliptos; de 25 mm. en bosques decíduos y de 10 mm. en matorrales y pastos.
 - El cambio anual más alto en rendimiento hídrico que se ha causado en una cuenca experimental por la manipulación de la vegetación fue de 660 mm/año, ocurrido en la cuenca No. 17 en Coweeta, Carolina del Norte, USA. Cambios de magnitud similar se han reportado en Oregon, USA y Sur África.

En Cuba, las leyes de cambio del balance hídrico, en función de los factores hidrometeorológicos y la actividad económica del hombre en el bosque y uso del suelo, han sido poco estudiadas. Puede decirse que los estudios sobre hidrología forestal comenzaron en el año 1972, cuando Sagué *et al.* (1979) establecieron las parcelas de escurrimiento y 4 subcuencas experimentales en la Sierra del Rosario, para estudiar durante 5 años la influencia de la cobertura vegetal, la construcción de caminos y el terraceo de montaña en el escurrimiento superficial y la erosión total de la cuenca, obteniendo, entre otros resultados, que en el pasto natural se produce un escurrimiento superficial de hasta 8 veces mayor que en el bosque y que la erosión en el bosque es hasta 446 veces menor que en el pasto natural.

Cuando se produce una precipitación pluvial sobre un terreno desprovisto de vegetación o de otros elementos naturales o artificiales, toda ella alcanzará la superficie del suelo, a excepción de una pequeña cantidad que se evapora y que nunca se mide Dastane (1974), citado por F. González (1993). No ocurre lo mismo cuando la precipitación tiene lugar sobre una zona arbolada o en general cubierta de vegetación, en la que una fracción considerable nunca llega a tocar el suelo, y la que consigue, lo hace a través de diferentes trayectorias.

En el año 1974 el departamento de Suelos e Hidrología de la Dirección de Silvicultura del INDAF, realizó estudios hidrológico-forestales en la cuenca superior del río San Diego y en diferentes cuencas hidrográficas del país,

utilizando parcelas de escurrimiento no permanentes de 100 m² de superficie, con aplicación de lluvia simulada, obteniéndose, producto de estas investigaciones, la metodología a seguir para la determinación del ancho de las fajas de protección forestal a las riberas de los ríos y embalses (Herrero, 2003) y en la actualidad constituyen un indicador de manejo forestal sostenible en Cuba (Herrero, 2005).

En estos estudios Perera (1975) obtuvo que, en plantaciones de coníferas de 8 años, el coeficiente de escurrimiento era de solo 0.15 o sea el 15 % del total de lluvia aplicada y que la erosión hídrica no excedía de 6.4 Kg. /ha; mientras que en cultivos de maíz y yuca se produjeron coeficiente de escurrimiento de 0,78 y 0,28 respectivamente, y la erosión sobrepasaba los 6000 Kg./ha en el primer caso y 1200 Kg/ha en el segundo.

Se realizó, durante aproximadamente tres años en la precordillera norte de la Sierra Maestra (Estación Experimental Forestal de Guisa), estudios de pérdidas de suelo y agua sobre 4 sistemas diferentes de preparación del suelo (curvas a nivel, hoyos de plantación, lunetas individuales y terrazas de banco), obteniendo que donde menos erosión y pérdida de agua por escurrimiento se produjo fue en el tratamiento de terrazas de banco, con 530 Kg/ha promedio por año y 46 mm promedio por año respectivamente Geigel (1982), citado por Plasencia (2010).

Numerosas investigaciones, coinciden en señalar que la mejor forma de evitar la degradación y erosión de los suelos, es la conservación, restitución o aumento de la cubierta vegetal (Tang *et al.*, 1987; Greenway, 1987; Francis & Thornes, 1990; Rickson, 1990; Bharad y bathkal, 1991, Rognon, 1996). La vegetación tiene una función decisiva en la generación, protección y conservación del suelo, permitiendo la fijación del suelo, el descenso de la evaporación de la superficie del suelo, el aumento del contenido de materia orgánica, etc. Sin embargo, la cubierta vegetal tiene otros efectos que se derivan de su función dentro del ciclo hidrológico que, en regiones áridas y semiáridas, pueden resultar negativos desde el punto de vista de los recursos hídricos (Serrato, 1999).

A continuación se muestra en la figura 1, componentes de estudio:

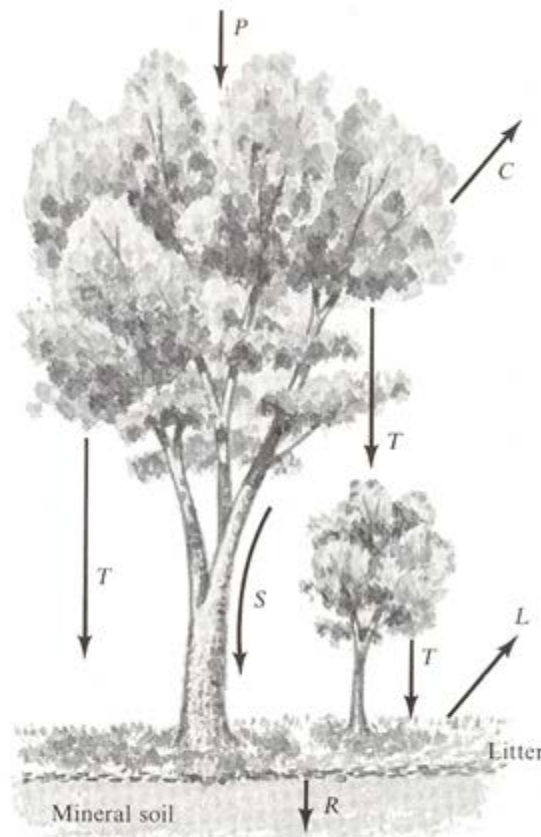


Figura 1. Componentes. P es precipitación, C intercepción por la copa, L es intercepción de hojarasca, T es trascolación, S es escurrimiento cortical, R es infiltración

1.1.2 Investigaciones en otros países

Se han realizado estudios por diferentes autores de cómo influyen los diferentes flujos hidrológicos, la interceptación, escurrimiento cortical y trascolación en especies a continuación en la tabla 1, se muestra un ejemplo de ello:

Tabla 1. Influencia de flujos hidrológicos en diferentes especies

Especies	Trascolación	Escurrimiento cortical	Interceptación (%)	Autores
<i>Quercus ilex</i>	65,2	4,5	31,3	Etteahd et al. 1973
<i>Eucalyptus obliqua</i>	72,2	-	-	Attiwill, 1966
<i>Pinus halepensis</i>	78,5	-	-	Rapp y Romane, 1968

<i>Pinus radiata</i>	70,6	-	-	Will, 1959
<i>Pinus pinea</i>	70,1	2,3	27,6	Rapp y Ibrahim, 1978
<i>Pinus nigra</i>			35,3	Rutter et al., 1975
<i>Abeto de Douglas</i>			39	Rutter et al., 1975
<i>Picea abies</i>			48	Rutter et al., 1975
<i>Pinus sylvestris</i>			24	Rutter et al., 1975

El reparto de las lluvias del agua del escurrimiento fustal no sólo conduce a difundir una mayor entrada de agua en el suelo del bosque, sino también a la concentración local alrededor de la base de los tallos de los árboles, que inducen variabilidad espacial en el suelo, en las propiedades y condiciones de humedad (Waidi et al. 1992). Se conoce que las zonas forestales en general, la evaporación total es mayor que en las zonas con menos vegetación, por ejemplo la hierba, debido principalmente a la interceptación más grande por el dosel del bosque Bosch y Hewlett (1982), citado por Marín (2000).

1.1.3 Caracterización de los flujos hidrológicos

Cada uno de los flujos hídricos interactúa de un modo particular con la vegetación, generando en ellos cambios tanto cuantitativos como cualitativos (Cavelier et al., 1997; Wang et al., 2005). Estos cambios dependen de factores relacionados con características propias del bosque (composición, estructura, edad, etc) y ambientales (intensidad y duración de la precipitación, vientos, etc) Carlyle (2004), citado por León (2010).

La **Interceptación** es una parte importante de la lluvia que cae sobre las zonas boscosas de las cuencas hidrográficas, la cual se evapora a través de las partes aéreas de los árboles y del manto vegetal por debajo de ellos, esta parte de la lluvia interceptada por la vegetación forestal, según el criterio de muchos investigadores es la pérdida de agua esencial o fundamental que experimentan las cuencas forestales en su balance hídrico por lo que para investigar la influencia de la vegetación sobre el régimen hidrológico de las

cuencas hay que prestar especial atención al estudio de este componente tan importante en el balance hídrico de la misma.

La interceptación es un proceso con una consideración creciente en los estudios de hidrología, debido a su importancia como proceso hidrológico de los sistemas forestales (Vrugt et al, 2003), citado por C. Morán (2008).

La influencia de la interceptación en la vegetación es uno de los papeles muy importantes que desempeña la vegetación sobre el ciclo hidrológico, sirve de compartimento distribuidor de las lluvias desde la atmósfera hacia el suelo. La interceptación hace parte substancial del consumo de agua total por las especies vegetales conjuntamente con la transpiración y la evaporación de agua del suelo y se considera una pérdida de agua para el ecosistema boscoso, pero es contrarrestada positivamente por los beneficios de la regulación de flujos de agua (reducción del caudal de avenidas), y participa activamente en la distribución de la lluvia.

Los diferentes estudios han concluido que por la interceptación, la cobertura forestal causa una disminución del agua que llega al suelo, hasta valores cercanos al 25% de la precipitación anual. En la figura 2, Lima (1986), presenta un esquema que permite visualizar la interrelación entre los procesos de recepción y redistribución de las lluvias sobre un ecosistema forestal. Los procesos involucrados, como se ilustran en la figura 2, fueron definidos por Helvey y Patric (1965).

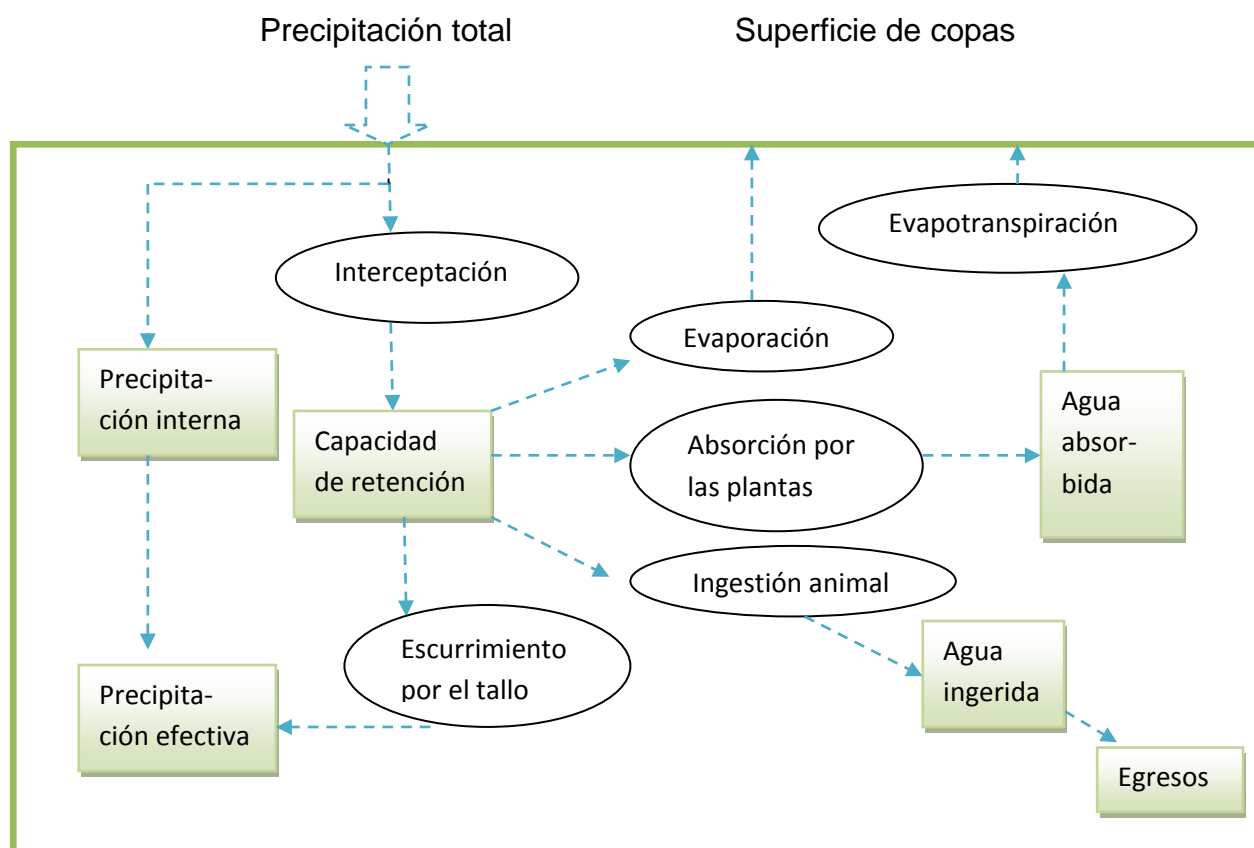


Figura 2. Modelo de Interceptación (Fuente: Lima, 1986)

El dosel vegetal constituye un depósito aéreo con pérdidas por caída y evaporación, cuando el depósito se llena: El agua rebosa, formándose gotas de mayor tamaño que las originales de la lluvia, se incrementa la erosividad (en bosques de árboles de gran porte. También puede darse en árboles de menor porte como el olivo). Gran parte del agua almacenada es perdida rápidamente por evaporación al no estar sometida a fuerzas de retención importantes. La interceptación supone una merma apreciable del agua de lluvia en el proceso de transformación de ésta en esorrentía (Ayuso, 2011).

A las pérdidas por interceptación se le llama cuando la cantidad de precipitación que llega a la superficie del suelo depende de la cubierta vegetal. Esta cubierta intercepta parte de la precipitación y puede ser almacenada temporalmente en las hojas, ramas y tronco, desde donde puede evaporarse (Ward y Robinson, 2000), citado por C. Morán (2008).

A continuación en la figura 3, se observa un diagrama del ciclo hidrológico.

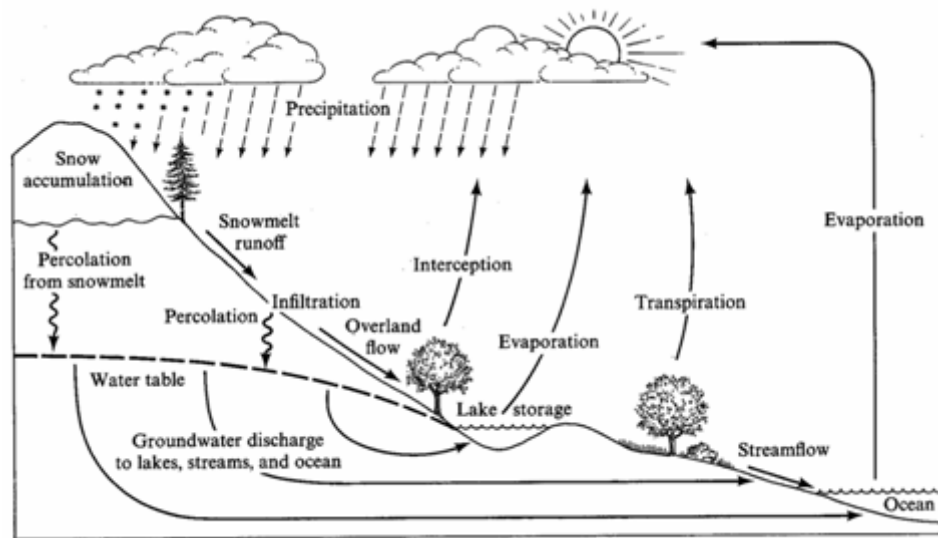


Figura 3. Diagrama del ciclo hidrológico. (Fuente: presentación de power point)

Factores que influyen en la interceptación

Precipitaciones:

- Altura: El agua interceptada (I) aumenta con la altura de lluvia (P), hasta un valor más o menos constante (capacidad de almacenamiento de agua de la cubierta vegetal, S):

$$I = AP^2 + Bp$$

$I = S$ cuando P se hace muy grande

- Intensidad: El porcentaje de agua interceptada disminuye al aumentar la intensidad de la lluvia.
- Estado atmosférico: La cantidad total de agua interceptada depende de la tasa de evaporación desde la cubierta vegetal, que a su vez depende de las condiciones evaporantes de la atmósfera (temperatura, tasa de humedad, viento, etc.)

Características de la cubierta vegetal:

- Capacidad de almacenamiento de agua de cada planta: depende de la forma, tamaño, rugosidad, orientación de las hojas, densidad foliar, etc.

-
- Estructura de la masa vegetal: en cuanto a cobertura, presencia de estratos, edad de los individuos, estado fitosanitario, etc.

Medida de la interceptación

Agua interceptada = Precipitación bruta (agua que llega al suelo en zona abierta) – Precipitación neta (agua que llega al suelo bajo cubierta vegetal)

Precipitación bruta (referencia) y trascolación: Medición con pluviómetros o cualquier dispositivo para medir precipitaciones, en zonas abiertas y en zonas cubiertas por vegetación.

Escurrimiento cortical: Disposición de collarines que se adhieren y rodean el tronco, formando un canal donde se concentra el escurrimiento y puede almacenarse en un recipiente medidor.

La interceptación de la capa de residuos orgánicos sobre el suelo puede hacerse midiendo los cambios de humedad de dicha cubierta. Por lo que la necesidad de hacer numerosas mediciones, para lograr abarcar la variabilidad espacial del proceso, ligada a la variación espacial de la cubierta.

La interceptación de la precipitación por la vegetación y la posterior evaporación durante y después de los eventos de lluvia es un componente importante del presupuesto hidrológico de los ecosistemas terrestres y es, sobre todo en los ecosistemas forestales, un componente importante de la evapotranspiración (Crockford y Richardson, 2000) citado por Jeroen S. (2008), la precipitación neta, la cantidad de agua que llega al suelo del bosque, se compone del escurrimiento fustal. Las lluvias llegan a la tierra directamente a través de huecos en la cubierta de dosel o copa, mientras que el escurrimiento fustal fluye hacia abajo por los troncos de los árboles.

La partición de la lluvia, se ve afectada por la cantidad, intensidad y duración de la precipitación y la distribución temporal de los eventos de lluvia. La cantidad de escurrimiento y el agua del escurrimiento fustal tienen a menudo una fuerte correlación con la cantidad de lluvia (Bellot y Escarré, 1998, Marín et al, 2000; Xiao et al, 2000; Huber y Iroume, 2001; Iroume y Huber, 2002), citado por Jeroen S. (2008). Las precipitaciones de alta intensidad y corta duración pueden producir aumento de las precipitaciones

netas de entrada a los eventos de baja intensidad y larga duración (Bellot y Escarré, 1998). La distribución temporal de la precipitación afecta al número de humectación del dosel y ciclos de secado (Link et al., 2004), por lo tanto, para una lluvia dada la intercepción de eventos es mayor si la lluvia es intermitente (Rutter y Morton, 1977; Zeng et al, 2000). En segundo lugar, las condiciones meteorológicas controlan la velocidad de evaporación del agua interceptada que se almacena temporalmente en las hojas, ramas y troncos. En consecuencia, la cantidad de la precipitación neta se ve afectada por la velocidad del viento, humedad del aire (Rutter y Morton, 1977; Teklehaimanot y Jarvis, 1991) y radiación neta (Klaassen, 2001). En tercer lugar, la intercepción depende de características de la estructura del bosque tales como la composición de especies (Aussenac y Boulangeat, 1980), por la cual se destaca la edad, el área basal (Forgeard et al., 1980), la distribución espacial de los árboles (Teklehaimanot y Jarvis, 1991), el índice de área foliar (Marín et al., 2000), ángulo de las ramas (Huber y Iroume, 2001), y la forma de la hoja (Crockford y Richardson, 2000), citado por Jeroen S. (2008).

Un número de estudios acerca de la interceptación de precipitaciones han demostrado que las pérdidas por intercepción son de gran importancia en la determinación, la producción de agua de las áreas forestales en relación con los rendimientos de la otra cubierta vegetal (Calder, 1976; Gash y Stewart, 1977; Murdiyarso, 1986; Scatena, 1990; Loustau et al, 1992). Los estudios acerca de las pérdidas por intercepción indican que una mejor comprensión de los procesos de intercepción por pérdida de las diferentes cubiertas vegetativas o las técnicas de gestión puede permitir una mejor predicción de las consecuencias de cambios en la vegetación para la producción de agua. Por lo tanto, las mediciones y los modelos de la pérdida de la interceptación son requisitos previos para cualquier predicción cuantitativa de los efectos de la gestión forestal en la hidrología local.

En las investigaciones realizadas en la ex URSS y otros países se determinó que la cantidad de las precipitaciones interceptadas por las copas de los árboles depende de la estructura y densidad de la vegetación, tipo de especie y de la cantidad e intensidad de las precipitaciones así como del intervalo entre las lluvias. Algunos autores opinan que de una disminución de los porcentajes

interceptados con el aumento de la precipitación (Ward y Robinson, 199, Bras, 1990), citado por F. González (1989).

Giraldo (1989), citado por Giraldo, 2002 presenta un compendio de los métodos empíricos y analíticos para modelar el proceso de interceptación. Múltiples estudios se han realizado hasta la fecha para la determinación de los componentes que intervienen en el proceso de interceptación (P, PI, Et, I). Lima (1986) concluye que los bosques de coníferas interceptan más agua que los bosques de hoja ancha.

Molchanov, (1960-1961) apoyándose en muchas mediciones de interceptación de la lluvia por las copas de los árboles hechas en la ex Unión Soviética y otros países de Europa llegó a la conclusión que los bosque de abetos pueden retener en sus copas el 37 – 46 % del total de la lluvia; las coníferas el 24 -27 %, las latifolias costeras el 24 % y los robles hasta el 22 %.

Otros estudios realizados para los eucaliptos en condiciones de plantación y en bosque natural en Australia, se encontró una media de interceptación que varía entre 15 % y 25 % de la precipitación incidente; la precipitación interna (PI) puede representar desde el 65 % hasta el 90 % y el escurrimiento por el tallo (Et) de 0.4 % hasta 8 %. CONIF (1998), citado Giraldo, 2002 reporta valores e interceptación de 12 % para *Eucalyptus grandis* en Colombia.

Otros estudios realizados en la zona vecina de Sabah, en el norte de Borneo, donde la pérdida por interceptación fue del 17% del ingreso bruto de las precipitaciones (Sinun et al., 1992), y mucho menos que la interceptación pérdida de 21% medido en una región de tierras bajas de una selva tropical en el oeste de Java, Indonesia (Calder et al., 1986). En una selva amazónica en el Brasil, la pérdida de la interceptación fue del 9% de las precipitaciones brutas (Lloyd et al., 1988), mientras que en una selva tropical, varió de 12 a 20% de las precipitaciones brutas (Franken et al. en De Paula Lima, 1990) citado por Asdak (1998).

Se está poniendo de manifiesto la gran importancia de los efectos del proceso de interceptación de la lluvia por parte de la cubierta vegetal, cuya consecuencia más importante, es la pérdida de recursos hídricos que ocasiona

por efecto del almacenaje de agua en la cubierta, la cual regresa a la atmósfera por evaporación. En este sentido, Trimble & Weirich (1987), hablan de una reducción de los aportes de los arroyos en el Sureste de los Estados Unidos, por efecto de la reforestación. Meuser (1990), calcula que unas pocas décadas después de reforestar, la escorrentía superficial se reducirá al 50% y la transpiración aumentará un 35%, por lo que la recarga de acuíferos se reduciría en un 40%. En ambientes áridos y semiáridos, estudios llevados a cabo recientemente (Tromble, 1988; Navar & Bryan, 1990; Belmonte Serrato y Romero Díaz, 1994, 1996, 1997; Derouiche, 1996), indican que las pérdidas de lluvia por interceptación, pueden resultar más elevadas que en medios templados, llegando a ser en algunos casos, y en condiciones de sequía, superiores al 35% de la precipitación anual (Belmonte Serrato, 1997).

La interceptación de la lluvia por la vegetación, aparte de otros efectos, modifica la distribución espacial de la lluvia que alcanza el suelo, repercutiendo en la distribución de la humedad edáfica (Durocher, 1990; Belmonte Serrato *et al.*, 1996) y alterando la energía cinética de la lluvia.

Los valores de intercepción obtenidos en este estudio difieren substancialmente de los obtenidos por Ballesteros (1983) y De las Salas y García (2000), tal vez debido a los métodos utilizados en cada estudio y a las variables tanto climáticas como de los tipos de bosque. Los valores de intercepción en plantaciones de *Pinus patula* son comparables con los obtenidos por CONIF (1998) para la misma especie.

Tabla 2. Valores calculados de intercepción en parcelas de *Cupressus lusitanica*, *Pinus patula* y bosque natural secundario en Guadalupe, Antioquia

(Fuente: Tobón, 1989)

Cobertura	Precipitación incidente	Precipitación interna		Escurrimiento por el tallo		Intercepción	
	Mm	Mm	%	Mm	%	Mm	%
<i>Cupressus lusitanica</i>	3098	2458	79	183	5.9	456.8	14.7
<i>Pinus patula</i>	3077	2038	74.9	132	4.3	637.4	21.0
<i>Bosque natural</i>	3412	2756	80.7	43	12	613	18

Rakhmanov (1966) en su revisión exhaustiva de los estudios realizados en Norte América, Europa y Rusia, estableció que las pérdidas por interceptación anual por las copas de bosques mixtos, incluyendo pinos, no excedían del 35 %, con unas pocas excepciones. En bosques de hoja ancha el promedio varió de 20 % - 22 % y en plantaciones de pino 25 %.

Para el caso de los bosques húmedos tropicales el estudio de Tobón (1999) en la Amazonía colombiana, obtuvo valores de precipitación interna que varían de 82 –87 %; escurrimiento por el tallo de 0.9 –1.5 %; interceptación de 12 – 17 %. Los valores de interceptación son muy bajos comparados con bosques naturales de zona andina o con coníferas, lo que indica que la mayor parte del agua lluvia (80 %) llega al suelo y las pérdidas de agua por evapotranspiración es a través del proceso de transpiración (40 %).

Clarke (1987) citado por Odair J. (2004), repasó un número grande de pérdida de interceptación de lluvia estudiados en los bosques tropicales de Asia, América del Sur, África y concluyó, después por Bruijnzeel (1990), que la interceptación en los bosques tropicales es bastante diversa y difiere grandemente en su fiabilidad por varias razones, principalmente, climático, vegetativo y procesal. Actualmente más investigadores de interceptación-pérdida son conscientes de la variabilidad de la trascolación en los bosques tropicales y ha estado usando las técnicas intensivas para estimar la trascolación con precisión, por lo menos en una base periódica (Lloyd y Marques, 1988). Por otro lado, como opino Levia y Escarcha (2003). Se han realizado experimentos cuidadosamente dirigidos en solo árboles o los bosques relativamente homogéneos han mostrado ese escurrimiento cortical para los árboles individuales es principalmente afectado por el almacenamiento de agua, el ángulo de la rama, el tamaño del árbol, la cantidad de la hoja, el tamaño y ángulo de la inserción, la magnitud de lluvia, intensidad de lluvia, exposición del árbol para dirigir la lluvia y velocidad del viento (Crockford y Richardson, 1987, 1990, 2000,; Herwitz, 1987, citado por Odair J. Manfroí (2004).

La cuantificación de evaporación interceptada por el árbol es un requisito previo para la valoración de cambios de uso de tierra. La duración con la que se moja el dosel por la lluvia interceptada también influye en la proporción de

transpiración de cosechas (Rakhmanov, 1958; Schindel, 1963; Harr, 1966; y del rendimiento de la cosecha, El Nicolson et al., 1968; Larson, 1981), citado por A. Sambasiva Rao (1986).

Para el modelado de interceptación de la lluvia, la estructura del bosque se describe generalmente por la cubierta del dosel y la capacidad de almacenamiento (Rutter y Morton, 1977; Gash, 1979; Davie y Durocher, 1997; Liu, 1997).

Otros estudios realizados explican que la pérdida de la interceptación relativa fue significativamente mayor en los períodos de hojas que en el períodos sin hojas, y se está de acuerdo con los resultados de otros estudios por ejemplo en bosques de hoja caduca (Augusto et al. 2002; Levia y Frost, 2003; Armbruster et al, 2004). En Francia, se encontraron pérdidas por interceptación del 21 % en el período de crecimiento y el 6 % en el período de reposo (Aussenac y Boulangeat, 1980). Sin embargo, Forgeard y col. (1980) no encontró evidencia para una relación entre la pérdida por interceptación y la fenología, y sugirió que la alta intensidad de la lluvia en el verano puede haber compensado y aumentar la interceptación debido a la presencia de hojas.

Las precipitaciones de partición dentro de árboles de hoja caduca es más afectada (Augusto et al., 2002). Durante el periodo de crecimiento de las hojas, la precipitación neta es generalmente más pequeña y el escurrimiento fustal constituye una pequeña parte de la precipitación neta que durante el período sin hojas, y el reposo vegetativo (Levia y Frost, 2003). Sin embargo, para evaluar el efecto de un dosel sobre la separación de la lluvia, es importante separar el efecto de los cambios estacionales en las características de las precipitaciones y las condiciones meteorológicas del efecto de la variación en la estructura de la cubierta durante todo el año. La relación entre la precipitación y la interceptación depende de la escala temporal considerado (Llorens et al. 1997), citado por Jeroen S. (2008).

La interceptación de las precipitaciones se produce durante eventos de lluvia pequeñas (Llorens et al., 1997, Precio y Carlyle Moisés-, 2003) citado por Jeroen S. (2008). El escurrimiento fustal y la pérdida por interceptación se ve

afectada por las características de las precipitaciones, factores meteorológicos y la estructura de la vegetación.

Importancia de la interceptación en el balance hídrico de una cuenca

- Reducción de la cantidad de agua que llega al suelo, en relación a las precipitaciones medidas.
- Parte de esta reducción puede ser compensada al producirse menores pérdidas de humedad del suelo por la transpiración.
- La presencia de vegetación favorece la formación de precipitaciones horizontales.

El papel de bosque de coníferas y bosques naturales en la distribución de la lluvia

Lima (1986), concluye de la revisión de muchos estudios, que los bosques de coníferas interceptan más agua que los bosques de hoja ancha. También verificó que las pérdidas por interceptación tienden aumentar con la edad de la plantación.

Coníferas e interceptación

Las componentes de la pérdida por interceptación de las coníferas especialmente del género pinus, fueron analizadas ampliamente en el trabajo de revisión presentado por Zinke (1967).

Frabken et al (1982), afirmaron que en bosques homogéneos constituidos por el género Pinus, las pérdidas por interceptación representan un valor muy variable, que depende sobre todo de la edad y de la distancia de siembra o densidad, pudiendo ser por ejemplo, de 6.6 % para plantaciones con 6 años de edad y de 32 % para plantaciones con 19 años.

Molchanov (1963), para denotar la importancia de la edad en la variable precipitación interna en porcentaje, cito los siguientes trabajos en pinos. Véase tabla 3.

Tabla 3. Penetración del agua a través de las copas en pinos (%) (Fuente: Molchanov, 1963)

Autor	Edad de plantación en años		
	30-40	60-70	90-100
Morozov (1926)	68		73
Nesterov (1932)	68	79	80
Luchshev (1940)	-	-	75
Hoppe (1896)	-	75	-
Ebermayer (1878)	67	-	-
Molchanov (1952)	69	73	82

Interceptación en latifolias

El trabajo más interesante en bosques tropicales fue realizado por Franken et al (1982), en la reserva forestal de Manaus, Amazonas, Brasil. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: 77.7 % para precipitación interna; 22 % para pérdidas por interceptación y 0.3 % para escurrimiento por el tallo. Estos estudios difieren mucho de otros, por ejemplo, en bosques amazónicos de la región de San Carlos, Venezuela, en los cuales se encontró: 87 % para precipitación interna, 5 % pérdidas por interceptación y 8 % escurrimiento por el tallo. Los factores que explican esto son diversos, además de las diferentes metodologías utilizadas. En la tabla 4, se resumen algunos estudios.

Tabla 4. Valores medios encontrados en muestras de investigaciones (Fuente: Giraldo, 2002)

	I%	PI%	Et%
Eucaliptos	16	79,8	4,3
Pinos	25	-	2,6
Bosques naturales y latifoliados	23,4	71,1	5,4

I: Interceptación; PI: Precipitación interna o trascolación; Et: Escurrimiento por el tallo;

Se concluye, que los valores medios encontrados en esta muestra de investigaciones para pérdidas por interceptación, en plantaciones de eucaliptos, son inferiores a los promedios de plantaciones de pinos y de

bosques naturales y latifoliadas. Además se comprueba que las especies de pinos interceptan más agua que las latifoliadas. Estos resultados son importantes desde el punto de vista hidrológico y de conservación del agua en cuencas hidrográficas, cuando se trata de comparar coberturas vegetales.

Rakmanov (1966), citado por Giraldo (2002) después de hacer una revisión exhaustiva de los estudios realizados en Norte América, Europa y Rusia, estableció que las pérdidas por interceptación anual por las copas de bosques mixtos, y de plantaciones de pinos no excedían del 35 %, con unas pocas excepciones. En Bosques de hoja ancha el promedio de interceptación varió de 20-22 % y en plantaciones de pinos 25 %. Una proporción similar es interceptada por los bosques mixtos.

Eucalipto e interceptación

Lima (1984-85-86), hace una revisión amplia sobre el tema de los eucaliptos y la interceptación. El eucalipto tanto en diferentes plantaciones, como en condiciones de bosques naturales en Australia, presenta una media de interceptación que varía entre 15 y 25 % de la precipitación incidente.

De esta muestra de estudios realizados se derivan los siguientes rangos extremos de variación para el eucalipto:

Interceptación (%): varía desde 5.3 hasta 24

Precipitación interna (%): varía desde 65 hasta 92.9

Escurrecimiento tallo (%): varía desde 0.4 hasta 7.7

Trascolación

Trascolación es la que se obtiene por la captación de los pluviómetros ubicados debajo de las copas o sea la cantidad de agua que llega a cada punto del suelo forestal (Lee, 1980; Aussenac, 1968; Ford & Deans, 1978).

Según Bellot (1988) la variabilidad espacial de la trascolación en un bosque ha sido abordada por diferentes autores en diferentes tipos de bosque. El hecho de que el coeficiente de variación oscile mucho de unos días a otros ha sido puesto en evidencia en varias ocasiones (Kimmins 1973); sin embargo también se han encontrado ciertas regularidades pues Patric (1965), Aussenac (1970) y Helvey y Kimmins (1973) indican que el coeficiente de variación acostumbra a

disminuir cuando aumentan los caudales de precipitación. En cuanto a los factores responsables de esta variabilidad, Aussenac (1970) cita, por orden de importancia, primero la cantidad de precipitaciones, segundo la velocidad del viento, tercero intensidad de la lluvia y en último lugar al desfronde existente.

La precipitación trascolada en una masa cualquiera se comporta de forma inversa a la precipitación interceptada, es decir aumentando cuando esta disminuye, y aumentando también con el incremento de precipitación.

Estudios realizados, informan que por ejemplo donde hay especies de latifolias, la importancia relativa es mayor, a lo que contribuye positivamente el mayor tamaño de los árboles y la menor rugosidad de su corteza, haciendo que la precipitación tenga mayor superficie de choque, y que fluya por el tronco más rápidamente, disminuyendo el tiempo de evaporación (F. González, 1989).

Huber e Iroume (2001) indican que la trascolación varía entre el 55 % y el 83 % de las precipitaciones y es mayor en las parcelas de coníferas que en las de latifolias, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas. Marín, Bouten y Sevink (2000) en estudios realizados en cuatro ecosistemas forestales encontraron variaciones en la trascolación entre 82 % y 87 % de las precipitaciones y plantean que la misma es función de las precipitaciones, pero también de características estructurales del bosque, sobre todo el grado de apertura del dosel.

La trascolación, se dispersa por toda la superficie cubierta, alcanzando a superficies muy diversas, según se trate de superficies cubiertas por individuos aislados, pequeños bosquetes o extensos bosques y matorrales (Belmonte y Romero, 1999).

Estudios realizados de trascolación en países como España, la trascolación media de pino albar *Ramón Poch* en Cal Parisa en 7 años consecutivos representa un 74 % de la precipitación, mientras que la escorrentía cortical supone solo un 24 % (Llorens *et al.*, 2003), citado por P. Llorens, 2005.

Llorens y Domingo (2007) realizaron una interesante reseña de la partición de la lluvia por la vegetación bajo condiciones mediterráneas, cerca de 90 artículos de estudios llevados a cabo en Francia, Grecia, Italia, Portugal y España publicados en diferentes fuentes fueron analizados mostrando de forma detallada los resultados, entre ellos informan los siguientes resultados de trascolación (%) para pinos:

Pinus halepensis (78.5, 58.9, 52.7), *Pinus nigra* (84.3), *Pinus sylvestris* (73.1, 80.7, 83.2). Para *Quercus ilex* en sitios estudiados en España, Grecia y Francia se presentan resultados que oscilan entre 59.7 y 77.8.

Pero la dispersión del flujo de trascolación, no se produce de forma homogénea, sino que por el contrario, se producen variaciones muy importantes dentro de una misma área cubierta. Estas variaciones, que fundamentalmente están determinadas por la propia estructura de la cubierta, se ven también afectadas por los cambios de velocidad y dirección del viento, por los cambios fenológicos que se producen en la vegetación a lo largo del año y las modificaciones de la cantidad de biomasa por efecto de sequías o situaciones de estrés hídrico (Belmonte y Romero, 1999).

La importancia de la variabilidad espacial de la lluvia trascolada ha sido puesta de manifiesto por diversos autores. Eschner (1967), resalta la importancia de la variabilidad espacial de la trascolación en la distribución de la humedad del suelo. Durocher (1990), dice que la variabilidad espacial de la trascolación tiene un papel muy importante en la heterogeneidad de la humedad del suelo a pequeña escala, pero también, en la respuesta hidrológica de las cuencas forestadas a escala de ladera. Ford & Deans (1978), concluyen que la distribución de la trascolación en el suelo es paralela a la distribución de las raíces finas. Gesper & Holowaychuck (1970, 1971), dicen que la separación de la precipitación neta en trascolación como flujo disperso, y la escorrentía cortical como flujo concentrado, influye en la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos forestales.

Además, la cubierta vegetal genera una nueva distribución del tamaño de las gotas de lluvia y algunos autores han resaltado la importancia de este aspecto en la variabilidad de la energía cinética del impacto de la gotas de trascolación (Chapman, 1948; Williamson, 1981; Mosley, 1982; Vis, 1986), citado por Belmonte F. (1999).

Escurrecimiento cortical

Escurrecimiento cortical es la parte de las precipitaciones que penetra bajo la cubierta de los bosques y escurre por los fustes de los árboles. Esta agua tiene mucha importancia para la vida del árbol porque humedece directamente las raíces y se consume, principalmente en la transpiración. Con el escurrecimiento por los fustes se introducen en el suelo muchas sustancias nutritivas que se lavan de las ramas y la corteza de los árboles, mejorando la nutrición de estos.

Las numerosas investigaciones que se han realizado en este sentido y cuyos resultados se encuentran generalizados en los trabajos de Kitzedzd (1951), Molchanov (1961), Rakmanov (1984) y otros, permitieron llegar a la conclusión que el escurrecimiento por los fustes casi siempre es insignificante ya que constituye el 1 – 2 % del total de las precipitaciones y que el volumen de escurrecimiento depende de la edad y densidad de la plantación. Además, en los rodales viejos con árboles que tienen la corteza muy áspera que pueden retener mayor cantidad de agua, el escurrecimiento disminuye en comparación con las plantaciones jóvenes. La composición de especies de las plantaciones también influye sobre el volumen de escurrecimiento.

La composición de las especies de la cubierta vegetal y los cambios en uso de la tierra afectan el equilibrio entre la trascolación, escorrentía cortical, intercepción y evapotranspiración (Brandt, 1987; Bonell, 1999, Douglas, 1999; Crockford y Richardson, 2000; Bruijnzeel, 2004), citados por Andrew Park (2008).

Estas variables se modifican por el dosel, arquitectura de la copa y el árbol, la edad en frondosas y bosques de coníferas (por ejemplo, Huber e Iroume, 2001; Pypker et al., 2005), y sistemas agroforestales (Schroth et al., 1999). La forma de la hoja, la orientación y el tamaño (Calder, 2001; Nanko et al, 2006), el ángulo de las ramas, el índice de área foliar (IAF) y las fracciones del dosel; juegan un papel en la partición lluvias (Crockford y Richardson, 2000; Johnson y Lehmann, 2006). Escurrecimiento fustal se ve influido por volumen del dosel y el área (Martínez-Meza y Whitford, 1996), y el ángulo en el que las ramas se insertan a los tallos principales (Lida et al. 2005) la rugosidad de la corteza y la capacidad de absorción de modificar aún

más el escurrimiento fustal al afectar a la capacidad de almacenamiento de tallos principales y ramas, que puede exceder la de pequeñas ramas y el follaje combinado (Herwitz, 1985; Liu, 1998; Llorens y Gallart, 2000; Levia y Herwitz, 2005).

Se han llevado a cabo experimentos en árboles aislados o bosques relativamente homogéneas lo cual han demostrado que el agua del escurrimiento fustal para árboles individuales es afectado principalmente por el almacenamiento de agua en la corteza, el ángulo de la rama, el tamaño del árbol, la cantidad de hojas, el tamaño y la inserción, la magnitud de las precipitaciones, la intensidad de las precipitaciones y el ángulo, la exposición del árbol para dirigir la precipitación y velocidad del viento Odair J. Manfroi, (2004).

Rakmanov (1984) señala que las investigaciones realizadas en dos parcelas del bosque tropical húmedo (Venezuela) permitieron revelar la influencia del diámetro del árbol sobre el escurrimiento. En Cuba el primer trabajo en esta temática fue realizado por el búlgaro Kerenski (1975) llevado a cabo en los árboles del bosque alto de baja calidad en Sierra del Rosario donde obtuvo un escurrimiento por el fuste que representó el 7.8 % de la lluvia total.

Según Huber e Iroume (2001) el escurrimiento cortical varía entre el 1 y el 13 % de las precipitaciones en las coníferas y entre el 1 y el 8 % en las latifolias, por su parte Marín, Bouten y Sevink (2000) plantean que el escurrimiento cortical es muy bajo.

El escurrimiento fustal tiene una entrada del punto localizado con un efecto detectable y significativo sobre la composición de especies del sotobosque (Andersson, 1991), el pH del suelo (Falkengren-Grerup, 1989; Matschonat y Falkengren Grerup, 2000), y las aguas subterráneas (Taniguchi et al. 1996), citado por D.F. Levia (2010).

Dependiendo las características del dosel muchos afectan también a la generación de escorrentía cortical, la rugosidad de la corteza y las ramas, las especies con corteza más áspera tienen grandes capacidades de almacenamiento de agua y en consecuencia disminución del escurrimiento

fustal, que de árboles de corteza lisa (Levia y Herwitz, 2005, citado por D.F. Levía (2010).

Las entradas de agua del escurrimiento fustal según Durocher, 1990; Levía y Frost, 2003, citado por Levía (2010), han informado que este escurrimiento varía con el espacio y el tiempo, se tienen en cuenta factores bióticos y abióticos. Los factores bióticos que afectan las entradas del escurrimiento fustal espacial de volumen, incluyen la composición de especies de un bosque, inclinación de la rama, y el ángulo. Los factores abióticos incluidos son la velocidad y dirección del viento, que crean lluvias laterales impulsadas por el viento.

Lossaint y Rapp (1971) plantean que no se produce escorrentía cortical de forma significativa hasta que la precipitación no supere 12 l/m^2 , cuando los árboles son maduros y con corteza rugosa.

Según Bellot (1988) algunos autores han tratado de comprobar la relación del escurrimiento cortical con parámetros que definen la forma, estructura y dimensiones de los árboles con resultados diversos. Mientras que Ford y Deans (1978) y Rapp e Ibrahim (1978) no encuentran relaciones significativas entre este flujo y el diámetro del tronco a 1.30 m, Jordan (1980) si encuentra que esta relación es significativa. Szabó (1985) profundiza algo más comprobando que además del diámetro 1.30 m, la proyección de la copa y el ángulo de inserción de las ramas al tronco contribuyen de forma significativa a este flujo.

En el estudio realizado por Llorens y Domingo (2007), se presentan resultados para el escurrimiento cortical que varían entre 12.3 y 0.4 % para coníferas, entre ellos 1.7 para *Pinus halepensis*, 0.8 para *Pinus nigra* (Grecia) y 12.3 % (España), 1.5 % para *Pinus pinaster*, 2.3 % para *Pinus pinea*.

En un estudio realizado en Kalimantan Central, Indonesia, se observó que se debe tener en cuenta las variaciones que pueden existir respecto a los árboles de mayor o menor diámetro con el escurrimiento cortical. Estas variaciones pueden atribuirse a diferencias en las características de la corteza., dentro de las que se encuentra la rugosidad. Otras propiedades que también hay que tener en cuenta por ejemplo esta la posición, orientación de la copa y además la posición de otros árboles en el área circundante.

El escurrimiento tiene una variabilidad espacial considerable en la mayoría de las masas forestales, incluso a nivel de parcela (Staelens et al., 2006).

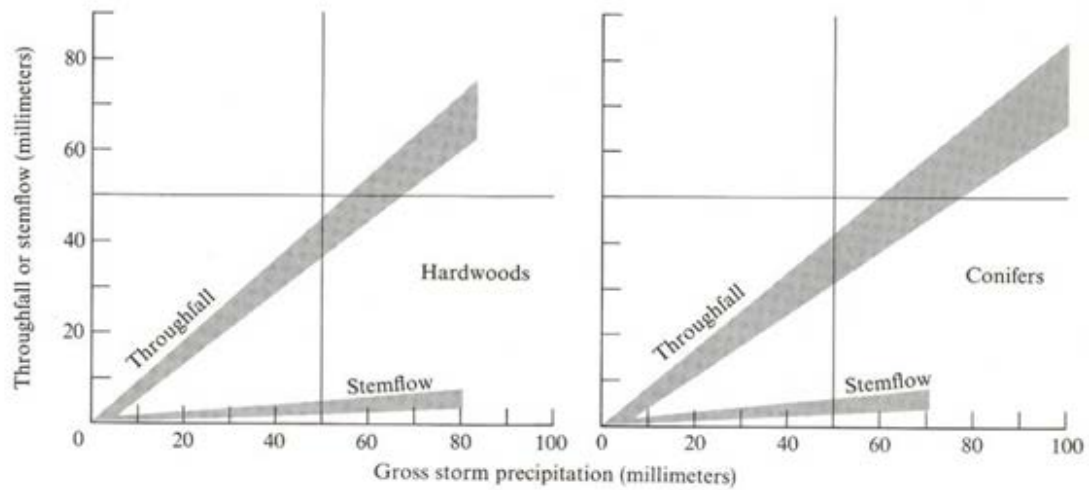


Figura 4. Relación de trascolación y escurrimiento cortical por acumulación de precipitaciones. Las zonas sombreadas incluyen todos los datos proporcionados por varios listados bibliográficos (Fuente: Staelens et al., 2006)

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1. La estación hidrológica forestal “Amistad”

A través del proyecto UNESCO en el decenio hidrológico internacional (1965 –1975), se escogió la cuenca del río San Diego como pionera para el estudio de cuencas hidrográficas en Cuba. Fue el Departamento de Suelo e Hidrología Forestal perteneciente al extinto INDAF (Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestal) quien asumió esta tarea. En el año 1974 comenzaron los estudios en la cuenca del río San Diego. Fue en los Bermejales en el área forestal Galalón, donde se localizó, construyó y se equipó la estación hidrológica forestal Amistad, entre 1976-1978 (Plasencia, 2010).

2.1.1. Situación geográfica y superficie

La provincia de Pinar del Río es la más occidental de Cuba, en ella se ubica la cuenca del río San Diego con 262 km² de extensión hasta el cierre de la presa La Juventud perteneciendo la mayor parte a la cordillera de Guaniguanico y el resto a la llanura aluvial de Pinar del Río, abarcando parte de los municipios La Palma, Consolación del Sur y Los Palacios. La Estación Amistad, situada en la cuenca del río San Diego, posee una superficie de 52 ha y su centro coincide con las coordenadas 22° 41' de latitud norte y 82° 26' de longitud oeste (Figura 2.1).

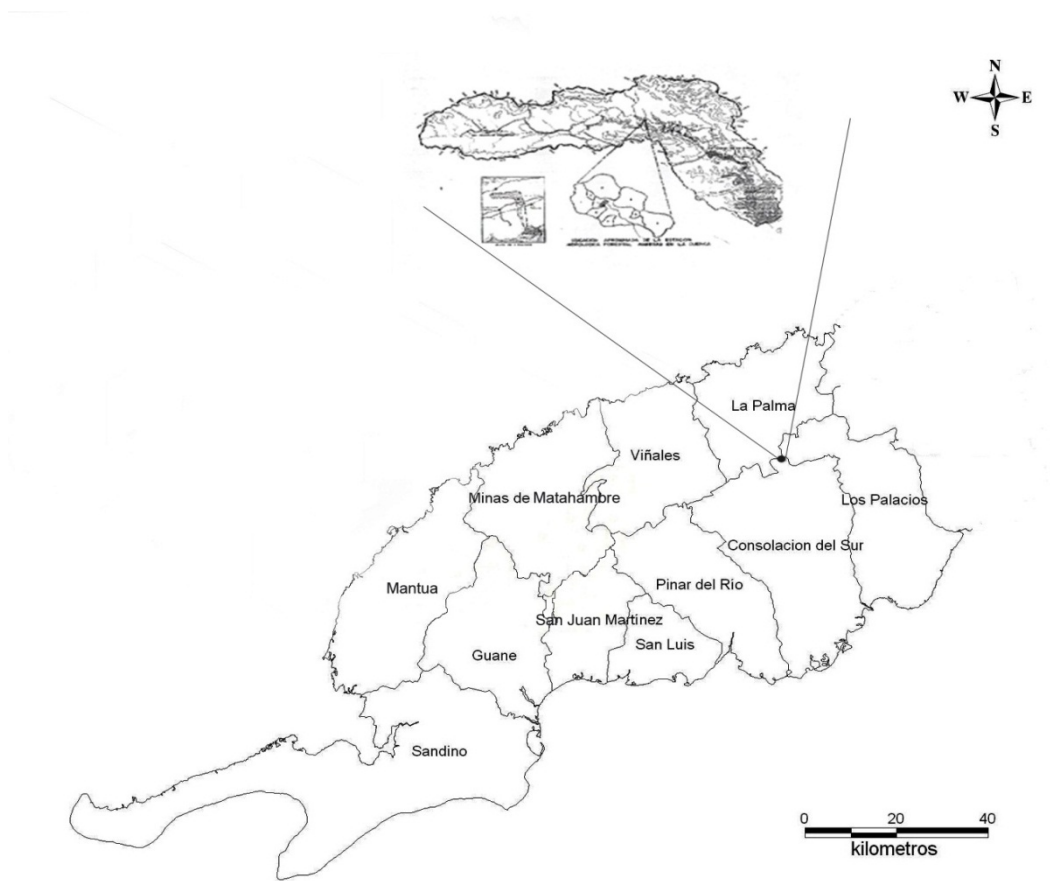


Figura 2.1. Ubicación del área de estudio

2.1.2. Vegetación

En la cuenca del río San Diego el pinar es la formación forestal más extendida, de gran importancia como productora de madera o protectora de los suelos y las aguas. Mientras que *Pinus tropicalis* Morelet tiende a ocupar las partes altas del relieve, *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, ocupa las partes más bajas. El estrato arbustivo está formado por bejuco colorado (*Serjania diversifolia* Jacq. Radlk), cordobán (*Tradescantia spathacea* Sw.), peralejo de costa (*Byrsonima roigii* Urb.) y el estrato herbáceo lo conforma principalmente el pajón (*Andropogon virginicus* L.)

El pinar es también la formación forestal predominante en la estación hidrológica “Amistad” (Figura 2.2). Aunque la masa es disetánea, se estimó, en el inicio del estudio, que la edad media era de alrededor de 25 años, clase de edad 3, grupo de edad natural, latizal. La altura promedio de los árboles era de 13 m y el diámetro normal de 16 cm.



Figura 2.2. Aspecto del pinar que cubre la estación hidrológica.

Asociados a los pinares pero ocupando las partes más bajas del relieve, a lo largo de las corrientes fluviales, se encuentran los bosques de galería (semicaducifolios sobre suelo ácido), encontrándose como especies principales, macurije (*Matayba apétala* Radlk), ocuje (*Calophyllum pinetorum* Bisse), almácigo (*Bursera simaruba* L. Sargentee), yaba (*Andira inermis* Sw HBK), jagua (*Genipa americana* L.) y pomarroja (*Syzygium jambos* (L.) Alston).

2.2. Trascolución, escurrimiento cortical, interceptación. Métodos de medición

En el año 1982 se establecieron las 2 primeras parcelas, una de ellas con coníferas (pinar natural) y la otra en latifolias. La tercera, en coníferas, se estableció en 1984. Se delimitaron parcelas de 30 m x 20 m en las cuales se colocaron pluviómetros en hileras bajo el dosel del bosque con una separación entre hileras de 10 m y entre cada pluviómetro entre 3 m y 5 m con el objetivo de medir la lámina de lluvia que penetra a través del dosel del bosque y llega a la superficie del suelo (trascolución). Además se colocaron pluviómetros y pluviógrafos fuera del dosel para medir la cantidad e intensidad de las precipitaciones a cielo abierto (Figura 2.3)



Figura 2.3. Emplazamiento de pluviómetro y pluviógrafo a cielo abierto

Los árboles de control de las 3 parcelas fueron equipados con bandas acanaladas, las cuales recolectaban las aguas que escurrían por los fustes, producto de las precipitaciones y las conducían por medio de mangueras a tanques colectores (Figura 2.4). Se instalaron además 22 pluviómetros los cuales se distribuyeron en las 3 parcelas (6, 6, 10) cuya función era recolectar las precipitaciones debajo de la copa (trascolución), un pluviómetro y un pluviógrafo a cielo abierto que permitía conocer además de la cantidad de precipitaciones, la hora de comienzo y terminación, así como su duración e intensidad. En total se estudiaron 5 árboles de latifolias y 15 de

coníferas. Las bandas acanaladas deben quedar dispuestas de forma tal que sólo recoja el agua que escurra por el tronco y no directamente de la lluvia. Las canaletas conducen el escurrimiento a tanques en los cuales se midió el volumen en litros inmediatamente después de cada lluvia. Se consideraron lluvias diferentes cuando el intervalo entre ambas fue de 60 minutos o más.



Figura 2.4. Árbol preparado para medir escurrimiento por el fuste y a la derecha en la foto, pluviómetro para medir la trascolación.

Se midió el diámetro a los árboles utilizados para canalizar el escurrimiento y en las parcelas se midió la proyección de copa.

Como ya se mencionó, la lluvia que cae sobre el bosque se fracciona en tres flujos principales: agua que atraviesa la copa de los árboles, la que escurre por el tronco y la que es interceptada por las copas, pudiendo expresarse según la siguiente ecuación:

$$P = T + E + I$$

Donde:

P = Precipitación al aire libre (se mide directamente).

T = Trascolación (se mide directamente y se expresa en mm)

E = Escurrimiento cortical (se mide directamente y se expresa en mm).

I = Interceptación por las copas (se calcula despejando el término: $I = P - (E + T)$ y se expresa en mm).

Las mediciones se realizaron inmediatamente después de terminada cada lluvia.

En el caso del escurrimiento cortical, para convertir el volumen de agua recolectado en los tanques a lámina (mm), se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina (mm)} = V (l) / A,$$

Donde:

V = Agua escurrida por el fuste expresada en litros.

A = Área de copa proyectada en m^2

Con la información obtenida de manera directa y a través de cálculos se conformó un registro con el formato que se muestra en la tabla 2.1, en la que aparece un fragmento de los datos que sirvieron de base para este trabajo con un procesamiento primario.

Tabla 2.1. Registro y procesamiento primario de los datos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha	PPCA (mm)	Duración (minutos)	Intensidad mm/min.	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)	ECC (%)	IC (mm)	IC (%)
1/16/1983	2.8	5	0.5600	0.68	24.29	0.0000	0.00	2.1200	75.71
1/20/1983	82.63	610	0.1355	77.86	94.23	2.5869	3.13	2.1831	2.64
1/21/1983	14.8	302	0.0490	10.51	71.01	0.0744	0.50	4.2156	28.48
1/22/1983	30.7	446	0.0688	11.08	36.09	0.0000	0.00	19.6200	63.91
2/25/1983	5.53	110	0.0503	0.38	6.87	0.0098	0.18	5.1402	92.95
...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fecha	PPCA (mm)	Duración (minutos)	Intensidad mm/min.	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)	ECL (%)	IL (mm)	IL (%)
1/16/1983	2.8	5	0.5600	0.52	18.57	0.0000	0.00	2.2800	81.43
1/20/1983	82.63	610	0.1355	77.1	93.31	3.0595	3.70	2.4705	2.99
1/21/1983	14.8	302	0.0490	7.93	53.58	0.1268	0.86	6.7432	45.56
1/22/1983	30.7	446	0.0688	8.49	27.65	0.0000	0.00	22.2100	72.35
2/25/1983	5.53	110	0.0503	1.7	30.74	0.0000	0.00	3.8300	69.25
...

Donde:

PPCA: Precipitación promedio a cielo abierto

PPBCC: Precipitación promedio bajo copa coníferas (trascolación)

PPBCL: Precipitación promedio bajo copa coníferas (trascolación)

ECC: Escurrimiento cortical coníferas

ECL: Escurrimiento cortical latifolias

IC: Interceptación en coníferas

IL: Interceptación en latifolias

El registro original de datos por año quedo como se muestra en la tabla 2.2, el total de observaciones ascendió a 326, en posteriores análisis no se maneja esa cifra, ya que en el proceso de preparación de los datos fueron eliminados varios eventos por presentar errores de anotación, omisiones o de otra índole que los invalidaba.

Tabla 2.2. Registro original de datos (eventos –lluvias- por mes y año)

Mes	Años (eventos por mes)		
	1982	1983	1984
Enero	—	10	5
Febrero	—	7	10

marzo	—	5	4
abril	6	2	3
mayo	9	5	13
junio	14	16	16
julio	15	13	18
agosto	10	24	15
septiembre	14	17	14
octubre	12	14	5
noviembre	5	9	7
diciembre	3	6	—
Total	88	128	110

Para la caracterización general del comportamiento de las precipitaciones en la estación hidrológica forestal “Amistad” se utilizó la información registrada en el periodo 1979 a 2011.

Para el procesamiento primario y estadístico de los datos se empleó Microsoft Excel 2010, SPSS 15.0 y MINITAB 14.

CAPITULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3. 1. Comportamiento de las precipitaciones en la estación hidrológica forestal “Amistad” en el periodo 1979 – 2011

Según Plasencia, 2010, en Cuba, se reconocen dos periodos o temporadas: la lluviosa, de mayo a octubre (80%), y la poco lluviosa, de noviembre a abril (20%) (Centella *et al.* 1997). Es de destacar tanto en los valores mensuales como anuales que la variabilidad natural del Clima en Cuba se encuentra afectada por fenómenos de gran interés, uno de ellos es el impacto ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y el otro son los ciclones (INSMET s/f). Según esta misma fuente el elemento que más varía en el clima de Cuba son las precipitaciones.

En la tabla 3.1 se muestra la precipitación media mensual para el periodo 1979 al 2011 y luego para tres periodos sucesivos de aproximadamente diez años, como se observa en el periodo 79 – 93, en la época seca, excepto abril, hay un ligero incremento de las precipitaciones, sin embargo en la época lluviosa existe un decrecimiento en todos los meses excepto en mayo, esto contrasta con lo ocurrido en la última década, donde en el periodo seco hay decrecimiento de las precipitaciones, respecto a la media histórica, excepto en abril, donde la media aumenta ligeramente, sin embargo en el periodo lluvioso hay un incremento, excepto en el mes de mayo. En general se destaca septiembre como mes más lluvioso y diciembre como el más seco.

Tabla 3.1 Precipitación media mensual por periodos (mm)

Media 1979				
meses	a 2011	1979 a 1991	1992 a 2001	2002 a 2011
enero	76,52	76,84	116,85	35,78
febrero	68,05	81,99	54,32	63,67
marzo	76,25	81,40	71,91	73,88

abril	94,09	93,72	90,41	98,27
mayo	183,44	193,98	207,83	145,36
junio	251,55	215,45	238,70	311,35
julio	206,54	202,12	188,24	230,57
agosto	255,01	239,97	260,05	269,52
septiembre	291,53	229,45	328,54	335,21
octubre	170,52	143,72	186,10	189,78
noviembre	88,87	120,93	82,88	53,19
diciembre	57,30	60,43	60,07	50,47

La figura 3.1 representa la precipitación total anual y la media, para el periodo comprendido entre 1979 y 2011. Generalmente en los casos en que la precipitación sobrepasa los 2 000 mm coincide con años en que se han producido ciclones.

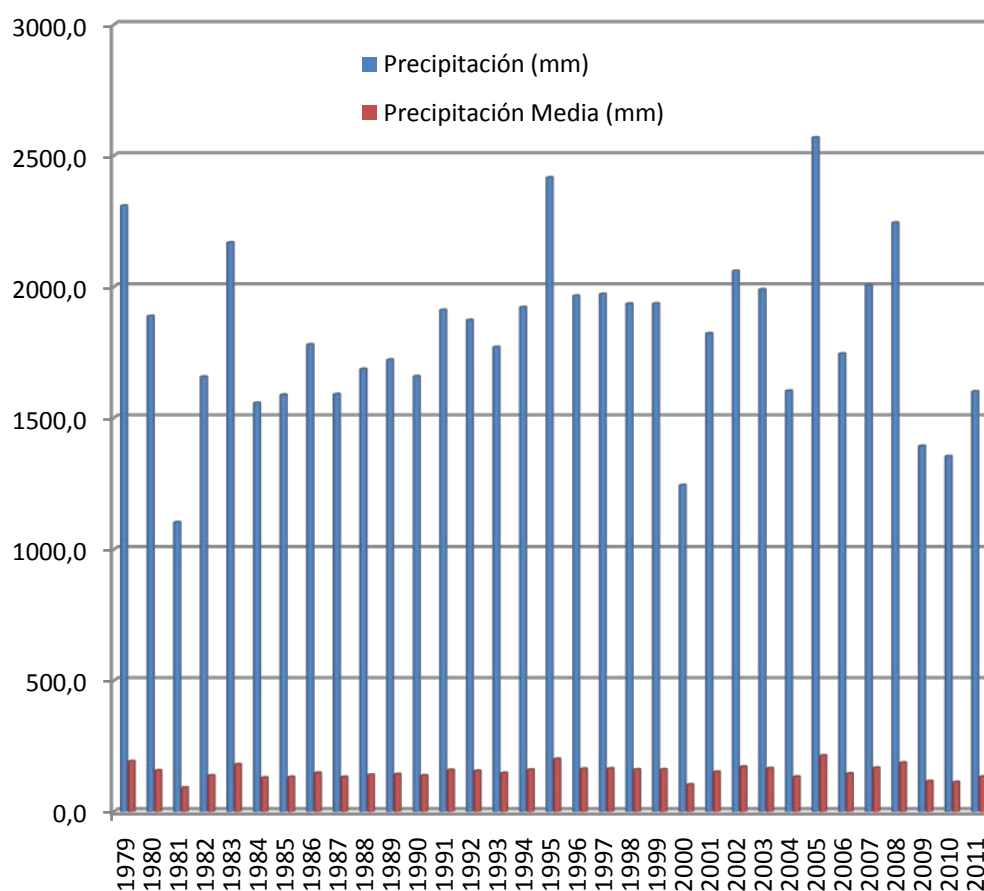


Figura 3.1 Comportamiento anual de la precipitación total y media

En la figura 3.2 se representa la precipitación para el periodo lluvioso y el poco lluvioso, obsérvese la tendencia de la serie de datos en la que contrasta un incremento en el periodo lluvioso con un decrecimiento en el poco lluvioso.

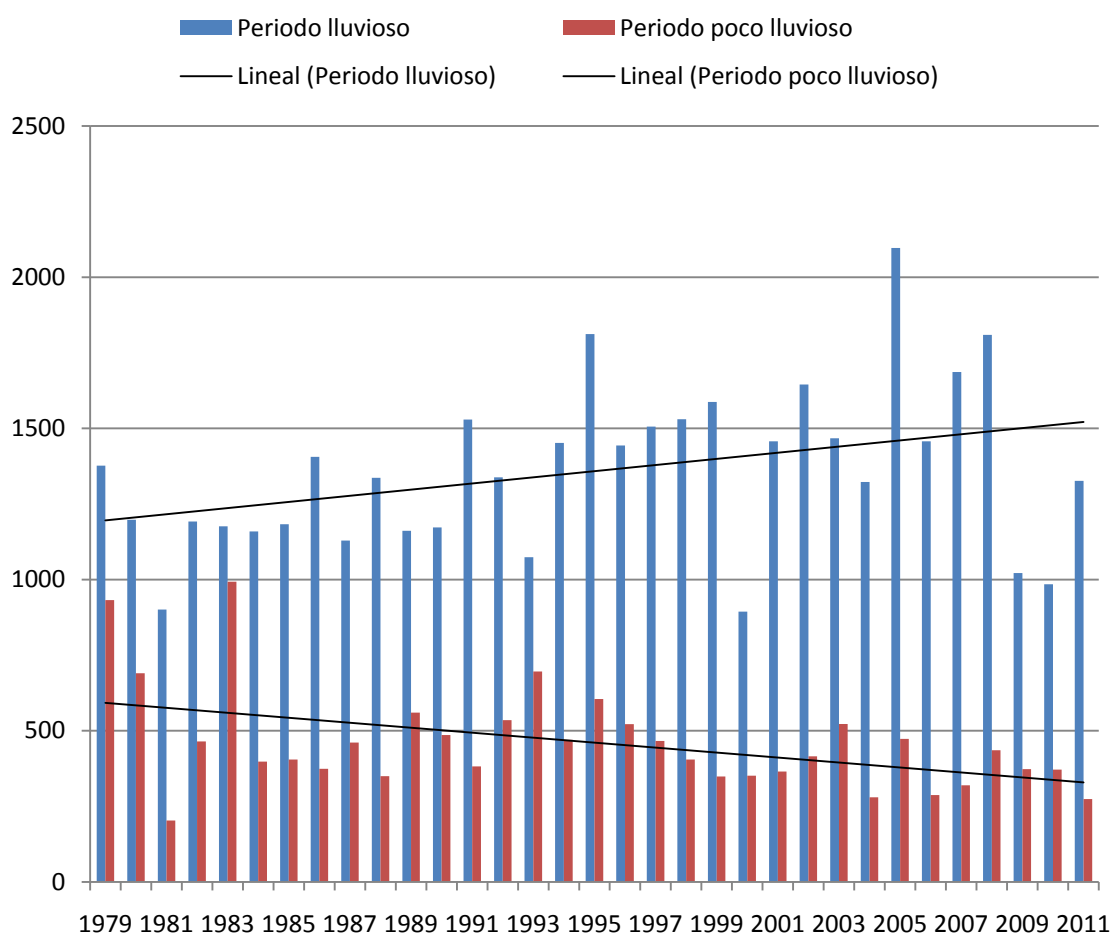


Figura 3.2. Representación de la precipitación en mm para el periodo lluvioso y poco lluvioso y la tendencia que han seguido los mismos desde 1979 al 2011.

3.2. Comportamiento de la partición de la lluvia

3.2.1. Análisis estadístico del conjunto de datos 1982, 1983 y 1984.

Como ya se mencionó en el periodo 1982 – 1984 se registraron 326 precipitaciones, de las cuales se eliminaron 51 por las razones explicadas en el capítulo anterior. En la tabla 3.2 se presenta la descripción estadística de las variables relacionadas con las mismas:

Tabla 3.2. Resumen de las precipitaciones (1982 – 1984)

Variable	N	Media	ESM	DS	CV	%
PPCA	275	15,16	1,19	19,66	129,70	
Duración	275	199.4	15,00	248,70	124,74	
Intensidad	275	0,1540	0,0134	0,2218	144,05	
PPBCC	275	12,179	0,981	16,265	133,55	80,34
PPBCL	275	11,065	0,923	15,279	138,08	72,73
ECC	275	0,2649	0,0365	0,606	228,78	1,74
ECL	275	0,2496	0,0319	0,528	211,75	1,64
IC	275	2,715	0,409	6,777	249,64	17,91
IL	275	3,884	0,358	5,933	152,73	25,62

PPCA = Precipitación promedio a cielo abierto (mm)

IC = Interceptación coníferas (mm)

Duración (minutos)

IL = Interceptación latifolias (mm)

Intensidad (mm/minutos)

ESM= Error estándar de la media

PPBCC = Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)

DS = Desviación estándar

PPBCL= Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm)

CV = Coeficiente de variación

ECC = Escurrimiento cortical coníferas (mm)

ECL = Escurrimiento cortical latifolias (mm)

Como se observa, la variabilidad es alta en todos los casos, lo cual es lógico teniendo en cuenta las peculiaridades del fenómeno que se investiga sobre el cual influyen muchas variables directas e indirectas. El comportamiento de la precipitación, trascolación, escurrimiento e interceptación anual para el periodo analizado se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Valores de precipitación, trascolación, escurrimiento e interceptación por años y periodos.

	PPCA (mm)	PPBCC (%)	PPBCL (%)	ECC (%)	ECL (%)	IC (%)	IL (%)
1982 Total	1 357,62	78,93	71,53	1,02	1,22	20,04	27,25
P. lluvioso	1 129,65	77,09	77,09	0,89	1,06	22,01	28,39
P. poco lluvioso	227,97	88,05	88,05	1,65	1,96	10,30	21,66
1983 Total	1 575,41	81,02	73,05	2,43	2,12	16,54	24,83
P. lluvioso	958,08	82,22	74,31	3,02	2,39	14,76	23,29
P. poco lluvioso	617,33	79,16	71,08	1,54	1,69	19,30	27,22
1984 Total	1 235,7	81,03	73,64	1,66	1,51	17,31	24,85
P. lluvioso	1003,48	81,35	73,46	1,80	1,61	16,84	24,93
P. poco lluvioso	232,22	79,62	74,41	1,06	1,09	19,31	24,49

En general los valores se mantienen bastante similares en los tres años analizados, en general las mayores variaciones se producen en 1982, año en el cual la información comenzó a registrarse a partir del mes de abril. Al analizar el comportamiento de la partición de la lluvia en el periodo lluvioso y poco lluvioso, lo lógico es que en los tres años ocurriera algo similar a 1982, es decir que en el periodo poco lluvioso disminuyera la interceptación y aumentara la trascolación sobre todo en las latifolias, ya que en esa etapa muchas especies pierden sus hojas, sin embargo no es así, por lo que más adelante se profundizará en esta análisis.

3.2.2. Influencia de las variables cantidad, duración e intensidad de la lluvia

3.2.2.1. Prueba de normalidad para las variables

En el caso de la partición de la lluvia las variables de interés son la trascolación, el escurrimiento cortical y la interceptación tanto para bosques de coníferas como para latifolias, como las mismas (según lo encontrado en la revisión bibliográfica) dependen en gran medida de la lluvia incidente y sus principales características (cantidad, duración e intensidad), se procedió en primer lugar a determinar el ajuste o no a la distribución normal de todas estas variables, para lo cual se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov(K – S) para una muestra (SPSS 15.0), la cual es una prueba de bondad de ajuste que sirve para contrastar la hipótesis nula de que la distribución de una variable se ajusta a una determinada distribución teórica de probabilidad, que se adapta mejor a situaciones en las que interesa evaluar el ajuste de variables cuantitativas.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en las tablas 3.4. a) a 3.4. c):

Tabla 3.4.a) Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (PPCA, Duración e Intensidad)

		Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	Duración (minutos)	Intensidad (mm/minuto)
N		274	274	274
Parámetros normales (a,b)	Media	14.6408	197.4544	.153720
	Desviación típica	17.71522	247.12982	.2221453
Diferencias más extremas	Absoluta	.210	.214	.247
	Positiva	.199	.203	.201
	Negativa	-.210	-.214	-.247
Z de Kolmogorov-Smirnov		3.478	3.549	4.091

Sig. asintót. (bilateral)	.000	.000	.000
---------------------------	------	------	------

a La distribución de contraste es la Normal.

b Se han calculado a partir de los datos.

Tabla 3.4.b) Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (PPBCC, ECC e IC)

		Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)	Escurremie nto cortical coníferas (mm)	Interceptación coníferas (mm)
N		274	274	274
Parámetros normales (a,b)	Media	12.026204	.265850	2.348730
	Desviación típica	16.0955678	.6069082	3.0140670
Diferencias más extremas	Absoluta	.227	.331	.223
	Positiva	.203	.323	.223
	Negativa	-.227	-.331	-.223
Z de Kolmogorov-Smirnov		3.765	5.474	3.689
Sig. asintótica (bilateral)		.000	.000	.000

a La distribución de contraste es la Normal.

b Se han calculado a partir de los datos.

Tabla 3.4.c) Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (PPBCL, ECL e IL)

		Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm)	Escurremie nto cortical latifolias (mm)	Interceptación latifolias (mm)
N		273	274	274
Parámetros normales (a,b)	Media	10.771231	.250508	3.658338
	Desviación típica	14.5094832	.5292619	4.6062965

Diferencias más extremas	Absoluta	.229	.318	.216
	Positiva	.209	.291	.199
	Negativa	-.229	-.318	-.216
Z de Kolmogorov-Smirnov		3.783	5.264	3.580
Sig. asintótica (bilateral)		.000	.000	.000

a La distribución de contraste es la Normal.

b Se han calculado a partir de los datos.

Como para todas las variables analizadas el nivel crítico (Significación asintótica bilateral) es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis de normalidad y se concluye que ninguna de ellas se ajusta a una distribución normal

3.2.2.2. Relación de la cantidad (PPCA), duración e intensidad en la partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias

El concepto de relación o correlación se refiere al grado de variación conjunta existente entre dos o más variables. Para determinar la existencia o no de correlación entre la cantidad, duración e intensidad y las de la partición de la lluvia (trascolación, escurrimiento cortical e interceptación), usando el software SPSS 15.0 se realizó un análisis de correlación lineal aplicando el procedimiento de correlaciones bivariadas, seleccionando el coeficiente de Spearman, los resultados se muestran en las tablas 3.5 a y b y 3.6 a y b:

Tabla 3.5.a) Estadísticos descriptivos para el análisis en coníferas

	Media	Desviación típica	N
Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	14.6408	17.71522	274
Duración (minutos)	197.4544	247.12982	274
Intensidad (mm/minuto)	.153720	.2221453	274
Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)	12.026204	16.0955678	274

Escorrentamiento cortical coníferas (mm)	.265850	.6069082	274
Interceptación coníferas (mm)	2.348730	3.0140670	274

Tabla 3.5.b) Estadísticos descriptivos para el análisis en latifolias

	Media	Desviación típica	N
Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	14.6408	17.71522	274
Duración (minutos)	197.4544	247.12982	274
Intensidad (mm/minuto)	.153720	.2221453	274
Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm)	10.771231	14.5094832	273
Escorrentamiento cortical latifolias (mm)	.250508	.5292619	274
Interceptación latifolias (mm)	3.658338	4.6062965	274

Tabla 3.6.a) Coeficiente Rho de Spearman para bosques de coníferas

			Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	Duración (minutos)	Intensidad (mm/minuto)	Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)	Escurrimiento cortical coníferas (mm)	Interceptación coníferas (mm)
Rho de Spearman	Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	Coeficiente de correlación	1.000	.489(**)	.451(**)	.970(**)	.679(**)	.637(**)
		Sig. (bilateral)	.	.000	.000	.000	.000	.000
		N	274	274	274	274	274	274
	Duración (minutos)	Coeficiente de correlación	.489(**)	1.000	-.514(**)	.488(**)	.308(**)	.305(**)
		Sig. (bilateral)	.000	.	.000	.000	.000	.000
		N	274	274	274	274	274	274
	Intensidad (mm/minuto)	Coeficiente de correlación	.451(**)	-.514(**)	1.000	.426(**)	.323(**)	.309(**)
		Sig. (bilateral)	.000	.000	.	.000	.000	.000
		N	274	274	274	274	274	274
	Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)	Coeficiente de correlación	.970(**)	.488(**)	.426(**)	1.000	.669(**)	.486(**)
		Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.	.000	.000
		N	274	274	274	274	274	274

Esguerrimiento cortical coníferas (mm)	Coeficiente de correlación	.679(**)	.308(**)	.323(**)	.669(**)	1.000	.308(**)
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.	.000
	N	274	274	274	274	274	274
Interceptación coníferas (mm)	Coeficiente de correlación	.637(**)	.305(**)	.309(**)	.486(**)	.308(**)	1.000
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.000	.
	N	274	274	274	274	274	274

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 3.6.b) Coeficiente Rho de Spearman para bosques de latifolias

			Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	Duración (minutos)	Intensidad (mm/minuto)	Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm)	Esguerrimiento cortical latifolias (mm)	Interceptación latifolias (mm)
Rho de Spearman	Precipitación promedio a cielo abierto (mm)	Coeficiente de correlación	1.000	.489(**)	.451(**)	.966(**)	.628(**)	.810(**)
		Sig. (bilateral)	.	.000	.000	.000	.000	.000
		N	274	274	274	273	274	274
	Duración (minutos)	Coeficiente de correlación	.489(**)	1.000	-.514(**)	.485(**)	.259(**)	.411(**)
		Sig. (bilateral)	.000	.	.000	.000	.000	.000

	N	274	274	274	273	274	274
Intensidad (mm/minuto)	Coefficiente de correlación	.451(**)	-.514(**)	1.000	.430(**)	.333(**)	.352(**)
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.	.000	.000	.000
	N	274	274	274	273	274	274
Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm)	Coefficiente de correlación	.966(**)	.485(**)	.430(**)	1.000	.614(**)	.687(**)
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.	.000	.000
	N	273	273	273	273	273	273
Esguerrimiento cortical latifolias (mm)	Coefficiente de correlación	.628(**)	.259(**)	.333(**)	.614(**)	1.000	.443(**)
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.	.000
	N	274	274	274	273	274	274
Interceptación latifolias (mm)	Coefficiente de correlación	.810(**)	.411(**)	.352(**)	.687(**)	.443(**)	1.000
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.000	.000	.000	.
	N	274	274	274	273	274	274

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

El nivel crítico permite decidir sobre la hipótesis nula de independencia lineal (o lo que lo mismo, sobre la hipótesis de que el coeficiente de correlación vale cero en la población). Como el nivel crítico es menor que el nivel de significación establecido (0,05) e incluso para 0.01 se rechaza la hipótesis nula de independencia y se concluye que existe relación lineal significativa para todas las variables analizadas, los valores de los coeficientes de correlación son bastante similares para bosque de coníferas y latifolias, la variable con mayor coeficiente de correlación es la PPCA. En todos los casos, excepto en la relación duración – intensidad los coeficientes son positivos, estos resultados coinciden con lo planteado por Bellot y Escarré, 1998, Marín et al, 2000; Xiao et al, 2000; Huber e Iroume, 2001; Iroume y Huber, 2002 (citado por Jeroen, 2008).

2.2.3. Comportamiento de las variables de la partición de la lluvia en bosques de coníferas y latifolias

Con la finalidad de conocer si existen diferencias significativas en la partición de la lluvia según sea la cobertura de bosque: pinar o latifolias se realizó una comparación de medias para las variables: PPBC (trascoloración), EC (escurrimiento cortical) e I (interceptación) en coníferas y latifolias empleando la prueba de Wilcoxon, los resultados estadísticos se muestran en la tabla 3.7:

Tabla 3.7. Resultados de la comparación de medias

Estadísticos de contraste(c)

	Precipitación promedio bajo copa latifolias (mm) - Precipitación promedio bajo copa coníferas (mm)	Escurrimiento cortical latifolias (mm) - Escurrimiento cortical coníferas (mm)	Interceptación latifolias (mm) – Interceptación coníferas (mm)
Z	-10.004(a)	-.286(b)	-10.058(b)
Sig. asintót. (bilateral)	.000	.775	.000

a Basado en los rangos positivos.

b Basado en los rangos negativos.

Puesto que el valor del nivel crítico (0,000) es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis de igualdad de promedios y se concluye que las variables comparadas (PPBC e I) difieren significativamente, en el caso del escurrimiento se acepta la hipótesis de igualdad de promedios.

3.2.4. Comportamiento de las variables de la partición según intervalos de precipitación, consecutividad de los eventos y periodos, por año y general.

Teniendo en consideración que la cantidad de precipitación (PPCA) es la variable con una correlación más fuerte con las de la partición de la lluvia, de acuerdo a los análisis anteriormente realizados a continuación se procede a un estudio más detallado de los datos partiendo de su clasificación según:

- Intervalos en cuanto a la cantidad de precipitación con una amplitud de 10 mm,
- Separación de los eventos de lluvia con tres días o más, y
- Según periodo del año: lluvioso (mayo – octubre) y poco lluvioso (noviembre – abril)

En las tablas 3,8 a la 3,10 se presenta el análisis por año desde 1982 a 1984 teniendo en cuenta los eventos no consecutivos, es decir lluvias separadas por al menos tres días, en la primera fila se resume el resultado general del año y las siguientes se analiza de forma separada por intervalos, se observa que en de manera general para los tres años existe una tendencia al incremento de la precipitación bajo copa (trascolación) con el aumento de la precipitación y en el caso de la interceptación ocurre a la inversa.

Tabla 3.8 Análisis para el año 1982, todos los eventos con tres días de separación y luego clasificados por intervalos, para coníferas y latifolias

Coníferas:

1982	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)	ECC (%)	(n)
Completo	653,5900	10437,0000	0,0626	465,3500	71,20	7,2724	1,11	180
(0 – 10 mm)	88,2700	3507,0000	0,0252	61,8600	70,08	1,1916	1,35	25
(10.1-20 mm)	100,9800	1509,0000	0,0669	78,5800	77,82	0,5939	0,59	21
(20.1-30 mm)	67,1900	1017,0000	0,0661	58,2800	86,74	0,7303	1,09	8,
(30.1-40 mm)	35,9000	247,0000	0,1453	31,0100	86,38	2,3649	6,59	2,
(40.1-50 mm)	49,9	1082	0,0461	45,98	92,14	0	0,00	3
(50.1-60 mm)								
(60.1-70 mm)	68,66	715	0,0960	61,81	90,02	1,7755	2,59	5,
(70.1-80 mm)								
(80.1-90 mm)	85,53	1640	0,0521	73,73	86,20	0,6162	0,72	11

Latifolias:

1982	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)	ECL (%)	(n)
Completo	653,59	10437	0,0626	442,74	67,74	9,1949	1,41	201
(0 – 10 mm)	88,27	3507	0,0252	51,16	57,96	1,6250	1,84	35
(10.1-20 mm)	100,98	1509	0,0669	68,18	67,52	1,5708	1,56	31
(20.1-30 mm)	67,19	1017	0,0661	53,84	80,13	1,0303	1,53	12
(30.1-40 mm)	35,9	247	0,1453	25,9	72,14	3,4706	9,67	6,
(40.1-50 mm)	49,9	1082	0,0461	42,13	84,43	0,0000	0,00	7,
(50.1-60 mm)								
(60.1-70 mm)	68,66	715	0,0960	59,7	86,95	1,4982	2,18	7,
(70.1-80 mm)								
(80.1-90 mm)	85,53	1640	0,0522	50,5	59,04	0,0000	0,00	35

Tabla 3.9 Análisis para el año 1983, todos los eventos con tres días de separación y luego clasificados por intervalos, para coníferas y latifolias

Coníferas

1983	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)	ECC (%)
Completo	739,67	10433	0,0709	630,04	85,18	18,3708	2,48
(0-10 mm)	123,19	4386	0,0281	86,24	70,01	0,9042	0,73
(10-20 mm)	127,95	2319	0,0552	110,25	86,17	1,2329	0,96
(20-30 mm)	98,36	1125	0,0874	80,04	81,37	1,5485	1,57
(30-40 mm)	109,46	571	0,1917	100,1	91,45	2,1208	1,94
(40-50 mm)	92,32	400	0,2308	82,41	89,27	5,4808	5,94
(50-60 mm)	113,73	798	0,1425	99,25	87,27	5,5522	4,88
(70-80 mm)	74,66	834	0,0895	71,75	96,10	1,5314	2,05

Latifolias

1983	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)	ECL (%)
Completo	739,67	10433	0,07090	559,28	75,61	15,9626	2,16
(0-10 mm)	123,19	4386	0,02809	77,81	63,16	0,9150	0,74
(10-20 mm)	127,95	2319	0,05517	95,2	74,40	1,6000	1,25
(20-30 mm)	98,36	1125	0,08743	76,19	77,46	1,8726	1,90
(30-40 mm)	109,46	571	0,19170	87,06	79,54	1,9593	1,79
(40-50 mm)	92,32	400	0,23080	68,53	74,23	3,7453	4,06
(50-60 mm)	113,73	798	0,14252	92,23	81,10	3,7988	3,34
(70-80 mm)	74,66	834	0,08952	62,26	83,39	2,0715	2,77

Tabla 3.10 Análisis para el año 1984, todos los eventos con tres días de separación y luego clasificados por intervalos, para coníferas y latifolias

Coníferas:

1984	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)	ECC (%)
Completo	759,41	6291	0,1207	620,7100	122,35	14,1611	1,8647
(0-10 mm)	123,89	2921	0,0424	77,5200	62,57	0,0805	0,0650
(10-20 mm)	111,03	1104	0,1006	93,6800	84,37	0,0854	0,0769
(20-30 mm)	139,6	811	0,1721	121,5800	87,09	2,4234	1,7360
(30-40 mm)	175,76	773	0,2274	140,0000	79,65	5,5686	3,1683
(40-50 mm)	42,13	208	0,2025	35,5000	84,26	1,4991	3,5582
(50-60 mm)	167	474	0,3523	152,4300	91,28	4,5040	2,6970

Latifolias:

1984	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)	ECL (%)
Completo	759,41	6291	0,1207	570,5700	75,13	10,8031	1,42
(0-10 mm)	123,89	2921	0,0424	75,4200	60,88	0,2448	0,20
(10-20 mm)	111,03	1104	0,1006	85,0000	76,56	0,7228	0,65
(20-30 mm)	139,6	811	0,1721	115,8000	82,95	1,6120	1,15
(30-40 mm)	175,76	773	0,2274	117,2000	66,68	3,7386	2,13
(40-50 mm)	42,13	208	0,2025	32,6000	77,38	1,1792	2,80
(50-60 mm)	167	474	0,3523	144,5500	86,56	3,3058	1,98

En la tabla 3.11 se analiza para los tres años de forma integrada, por intervalos, con todos los eventos con tres días de separación, el comportamiento se mantiene igual que al realizar el análisis separado por años tanto para coníferas como para latifolias.

Tabla 3. 11 Análisis por intervalo para los tres años (1982, 1983 y 1984), coníferas y latifolias

Coníferas:

Intervalo	Eventos	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)
0 a 10 mm	79	335.35	10814	0.0310	225.6200	67.2790	2.176
10.1 a 20 mm	24	339.96	4932	0.0689	282.5100	83.1010	1.912
20.1 a 30 mm	13	305.15	2953	0.1033	259.9000	85.1712	4.702
30.1 a 40 mm	9	321.12	1591	0.2018	271.1100	84.4264	10.05
40.1 a 50 mm	4	184.35	1690	0.1091	163.8900	88.9015	6.979
50.1 a 60 mm	5	280.73	1272	0.2207	251.6800	89.6520	10.05
60.1 a 70 mm	1	68.66	715	0.0960	61.8100	90.0233	1.775
70.1 a 80 mm	1	74.66	834	0.0895	71.7500	96.1023	1.531
80.1 a 90 mm	1	85.53	1640	0.0522	73.7300	86.2037	0.616

Latifolias:

Intervalo	Eventos	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)
0 a 10 mm	79	335.35	10814	0.0310	204.3900	60.95	2.784
10.1 a 20 mm	24	339.96	4932	0.0689	248.3800	73.06	3.893
20.1 a 30 mm	13	305.15	2953	0.1033	245.8300	80.56	4.514
30.1 a 40 mm	9	321.12	1591	0.2018	230.1600	71.67	9.168
40.1 a 50 mm	4	184.35	1690	0.1091	143.2600	77.71	4.924
50.1 a 60 mm	5	280.73	1272	0.2207	236.7800	84.34	7.104
60.1 a 70 mm	1	68.66	715	0.0960	59.7000	86.95	1.498
70.1 a 80 mm	1	74.66	834	0.0895	62.2600	83.39	2.071
80.1 a 90 mm	1	85.53	1640	0.0522	50.5000	59.04	0.000

En la tabla 3.12 se analizan todos los eventos con tres días de separación para los tres años de manera general y después separados por periodos: lluvioso y poco lluvioso, en este caso sucede que para las coníferas se observa un aumento de la trascolación y una disminución de la interceptación en el periodo poco lluvioso, pero en las latifolias esta tendencia, aunque se manifiesta igual, no es tan marcada, en el incremento de la trascolación puede influir la caída de las hojas, pero también de forma general en este periodo las lluvias tiende a ser de menor cantidad.

Tabla 3.12 Análisis de eventos discontinuos (al menos 3 días) todos los datos de los tres años y separados por periodos

	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCC (mm)	PPBCC (%)	ECC (mm)	ECC (%)	IC (mm)	IC (%)
Todos los datos	2152.67	27161	0.0793	1716.100	79.72	39.8043	1.85	396.765
P. lluvioso	1686.42	18971	0.0889	1318.230	78.17	32.3223	1.92	335.867
P. poco lluvioso	414.79	7764	0.0534	358.470	86.42	6.9237	1.67	49.3963

	PPCA (mm)	Duración (min)	Intensidad (mm/min)	PPBCL (mm)	PPBCL (%)	ECL (mm)	ECL (%)	IL (mm)
Todo los datos	2152.67	27161	0.0793	1572.5900	73.05	35.9607	1.67	544.119
P. lluvioso	1686.42	18971	0.0889	1223.9100	72.57	28.5250	1.69	433.985
P. poco lluvioso	414.79	7764	0.0534	311.6800	75.14	6.7696	1.63	96.3404

Conclusiones

- Del análisis de los datos de precipitación del periodo 1979 – 2011 se corrobora una tendencia a la disminución de las precipitaciones en el periodo poco lluvioso y al incremento de las mismas en el periodo lluvioso, lo cual se ve más marcado en el último decenio.
- En los bosques de coníferas la trascolación es de aproximadamente el 80 % de la lluvia incidente y la interceptación de un 18 %, mientras que en las latifolias estos por cientos son del 73 y 25 respectivamente. El análisis estadístico realizado demuestra que estos valores difieren significativamente, no ocurriendo así para el escurrimiento cortical.
- A través del análisis realizado empleando el coeficiente de Spearman se comprobó que existe una correlación significativa entre las variables cantidad, duración e intensidad de la precipitación con la trascolación, el escurrimiento cortical y la interceptación, siendo más marcada la que se establece con la cantidad.

Recomendaciones

- Continuar los estudios sobre la partición de la lluvia para profundizar en el conocimiento sobre el comportamiento de esta en las diferentes formaciones forestales.
- Emplear los resultados de este trabajo en la docencia.

Bibliografía

- Andrew Park, Jessie Lee Cameron. 2008. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a anamanian plantation. P 1-11.
- Análisis experimental de los flujos de agua en pinares quemados (*Pinus halapensis*). [diapositiva]. Álvaro Tena. 18 diapositivas, color.
- Arroyave, v. C. T y Giraldo L. Luis G. (1997). Estudio del balance hídrico de las microcuencas la Beta y la Cubero de Piedras Blancas, Antioquia. Rev. Crónica Forestal y del Medio Ambiente. No. 12. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. P 21-39.
- Artículos de FAO, Hidrología forestal <http://www.fao.org/docrep/x5358s/x5358s02.htm> (consultado el 4 de enero de 2012)
- Aussenac, J., (1970). Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. Ann. Sci. Forest., 27 (4): 383-399.
- Belmonte S., Romero Díaz, A. (1999). Balance hídrico y distribución espacial de la trascolación bajo cobertura de pino: influencia de la dirección del viento y la pendiente de la ladera. Universidad de Murcia. N° 22. P 1-9.
- Belmonte Serrato, F.; Romero Díaz, A.; Y Col. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. N° 30. P 5-15.

-
- Bruijnzeel, L. A. (1990). Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Faculty of Earth Sciences Free University. Amsterdam. The Netherlands. 222 p.
 - Bruijnzeel, L. A. (1997). Hydrology of Forest Plantations in the tropics. In: Sadanandan, N. E. K. y Brown, J. G. Ed. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. CSIRO, Canberra, Australia. 125 - 167 p.
 - C. Asdaka a2, P.G.Jarvis h, P. van Gardingen b, A. F. (1998) Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. N° 206. P 237-244.
 - Carlyle, D.E. (2004). Throughfall, stemflow, and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community. Journal of Arid Environments 58(2): 181-202.
 - C. Morán Tejeda, J Martínez. (2008). Trascolución y pérdidas por interceptación en un bosque de roble melojo del sistema central. N°34. P 7-22.
(<http://www.secforestales.org/buscador/pdf>) (Consultado el 17 de febrero de 2012)
 - Cursos de hidrología forestal. El ciclo hidrológico. [diapositiva]. José Luis Ayuso. 15 diapositivas, color.
 - D.F. Levia a*, J.T. Van Stan II b, S.M. Mage b, P.W. Kelley-Hauske b (2010). Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size. N° 380. P 112-120
 - Gonzaga G. L. (2002). La influencia de los bosques sobre el clima y los componentes del ciclo hidrológico.

-
- González Hernández F. (1989). Intercepción, trascolación y escorrentía cortical en masas de *Eucalyptus globules labill* y *Pinus pinea* del sur de la provincia de Huelva. Madrid (1CFE03). P 1-6
 - González del Tánago M. (2011). Función de los bosques en el ciclo hidrológico. Rev. Montes. 3. er Trimestre N° 106. P 1-2.
Disponible en internet:
http://www.revistamontes.net/descargas/revista/2011_106_055_056.pdf
 - Hidrología de plantaciones forestales disponible en internet:
http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiai/forestales/hidrologia_plantaciones_for_estales.pdf
 - Huber, A. y Iroume, A. (2001) Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. Journal of Hydrology Amsterdam. 248 (1-4): 78-92.
 - Jeroen Staelens, (2008) Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and Meteorology.
 - Lee, R. (1980) Forest Hydrology. Columbia University
 - León P. Juan D. y col. (2010). Distribución del Agua Lluvia en Tres Bosques Altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia, Colombia Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 63(1):5319-5336.
 - L. A Sampurno Bruijnzeel (2001). Hidrología de las plantaciones forestales en los trópicos. P 1-59.
 - Lima, W. P. (1986). Principios de Hidrología Forestal para el manejo de Bacias Hodrograficas. ESALQ. Univ. Sao Paulo. Piracicaba.

-
- Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México Madera y bosques, año vol 10 N° 001. P 3-20
 - Llorens Pilar, Francisco Domingo. (2006). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. N° 335. P 37-54.
 - Llorens P. (2005). El papel del bosque en los procesos hidrológicos. Ejemplares en las cuencas de investigación de vallcebre (Prepirineo Catalán). N° 31. P 27-44.
 - Maia, A.F.S.; Fisco, G. y Fernandez VI (1999) Microclimate and hydrology modifications due to the deforestation in the Amazonia: A case study in Rondonia State (RO), Brazil. Acta Amazonica 29:395-409.
 - Marin, C.T.; Bouten, W. y Sevink, J. (2000) Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. Journal of Hydrology 237 (1-2): 40-57.
 - Marin, C.T.; Bouten, W. y Sevink, J. (2000) Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. Journal of Hydrology 237 (1-2): 40-57.
 - Mongil, J.; 2011. *Función de los bosques en el ciclo hidrológico*. <http://ghidrologia.blogspot.com> (Febrero 20).
 - Molchanov, A.A. (1963). Hidrología Forestal. Israel Program for Scientific Translations. Lisboa. 419p.
 - Molchanov, A. A. (1961): Bosque y clima. p279

-
- Molina, A. R. (1981): Influencia del bosque en el régimen hidrológico. Metodología general y específica de las investigaciones. (Mecanografiado)
Centro de investigación Forestal. 56 p.
 - Nambiar y Alan g. Brown. Casiro Canberra Australia. (1997).
management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.
571p.
 - Odair J. Manfroi (2004). The stemflow of trees in a Bornean lowland
tropical forest. P 1-19.
 - Perera, J. R. 1975: Influencia del bosque en la calidad del agua.
Voluntad Hidraulica. Año XII. N 36 La Habana
 - Presentación de power point. Disponible en internet
<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-marta-pdf/Tema4.pdf> (consultado el 3 de diciembre de 2011)
 - Plasencia, A. 2010. Caracterización hidrológica en los ecosistemas de pinares naturales con y sin manejo en la Estación Hidrológica Forestal “Amistad”, Alturas de Pizarra, Cuba. 253 h. Tesis doctoral, universidad de Alicante.
 - Sambasiva Rao. (1986). Interception losses of rainfall from cashew trees
interception losses of rainfall from cashew trees.
 - Tobón, G. Darlin. (1989). Evaluación de pérdidas por interceptación de la precipitación en tres coberturas vegetales: *Cupressus lusitánica* Mill, *Pinus patula* y bosque natural secundario. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 125 p.

